

3^e Série, t. XXII. — 1894. — N^o 2.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE
DE FRANCE

(CETTE SOCIÉTÉ, FONDÉE LE 17 MARS 1830, A ÉTÉ AUTORISÉE ET RECONNUE COMME
ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE, PAR ORDONNANCE DU ROI DU 3 AVRIL 1832)

TROISIÈME SÉRIE

TOME VINGT-DEUXIÈME

Notes et Mémoires : Feuilles 5-8.
(Pl. IV-VI).

PARIS
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ
Rue des Grands-Augustins, 7
1894

Le Bulletin paraît par livraisons mensuelles
Mai 1894

Lill — Imp. LE BIGOT frères.

AVIS

Le Secrétaire rappelle aux membres de la Société géologique les décisions suivantes, prises par le Conseil :

Les Membres de la Société doivent acquitter leur cotisation à partir du 1^{er} janvier, s'ils veulent recevoir le Bulletin au moment de la publication. — Le Trésorier est autorisé à faire recouvrer les cotisations à domicile, par la poste, avec un supplément de 0,85 c. pour les frais d'encaissement.

Les Membres doivent adresser, d'une manière impersonnelle, tous les envois d'argent et les mandats à *Monsieur le Trésorier de la Société géologique de France* et toute la correspondance à *Monsieur le Secrétaire de la Société géologique de France*.

Les manuscrits seront conservés dans les Archives de la Société et ne seront pas communiqués aux auteurs en même temps que l'épreuve qu'on leur adressera. De plus, il ne sera envoyé qu'une seule épreuve aux auteurs.

Il ne doit être publié dans le Bulletin ou le Compte-Rendu aucun nom d'espèce ou de genre nouveau dont l'auteur n'a pas fourni une description accompagnée de figure.

Le nom spécifique de tout fossile cité doit être suivi du nom de l'auteur qui a fait l'espèce.

Les demandes de tirages à part doivent être adressées directement au Secrétaire de la Société qui se charge, dans ce cas, de veiller à leur exécution.

Les Comptes Rendus des séances paraissent dans les quinze jours qui suivent la séance et ne sont pas réimprimés dans le Bulletin.

Les différents fascicules du Bulletin renferment seulement les Notes et Mémoires envoyés par les auteurs et acceptés par la Commission du Bulletin ; dans la composition de ces fascicules il n'est tenu aucun compte des dates des séances de la Société, les mémoires étant imprimés à la suite, en tenant compte seulement de la date du dépôt des manuscrits au secrétariat.

Pour chaque mémoire, une note infrapaginale indique la date de la communication, la date du dépôt du manuscrit et la date du bon de correction donné par l'auteur.

La date du bon à tirer de chaque feuille est inscrite au bas de la première page de la feuille.

Le Secrétaire prie les auteurs de vouloir bien, dans leurs manuscrits :

Souligner les noms d'espèces ;

Mettre une majuscule à tous les noms de terrains et d'étages employés comme substantifs et à tous les noms de groupes zoologiques et botaniques ;

Ecrire avec beaucoup de soin, surtout dans les notes destinées au Compte-Rendu, les noms d'auteurs, de localités et de fossiles.

Séparer les figures du texte pour en faciliter la reproduction par le dessinateur.

moyen qui apparaissent ; on voit ensuite s'élever au-dessus de ces affleurements une haute falaise constituée par les couches bien régulières de l'Infralias, du Lias inférieur et du Lias moyen, laissant voir à leur pied des lambeaux importants de marnes et gypses triasiques. Les flancs du ravin montrent l'inclinaison relativement minime des bancs du Jurassique inférieur, et la disposition des couches est ainsi telle qu'on doit admettre l'existence d'une importante ligne de discontinuité au pied de la falaise.

Cette seule coupe ne permettrait pas de conclure au sujet de l'orientation de la surface de discontinuité ainsi reconnue ; les conclusions qui vont découler de l'étude d'autres parties du pli permettront d'arriver à un résultat précis à ce sujet.

La disposition des couches sur le flanc N.-O. du ravin de Norante est difficile à observer en place même, par suite de la déclivité du sol et de l'abondance des éboulis. Mais à distance, et en particulier du flanc opposé de la vallée, sur le chemin qui mène à Champagneul, on peut au contraire se rendre compte de la structure du pli avec une très grande netteté. On voit en effet la barre saillante formée par le calcaire à *Gryphaea cymbium*, très régulière au N.-O., et possédant ainsi dans le massif compris entre le ravin de Cuinier et celui de Norante un pendage vers le N.-E. de 15° à 20°, changer progressivement d'orientation, et, passant par la verticale, venir se renverser en s'étirant pour se perdre enfin en biseau à la hauteur du pied de la falaise. Toutes les couches voisines dessinent un mouvement analogue.

L'existence d'un pli couché est ainsi démontrée, à Norante, d'une façon absolument précise, et on peut déduire de cette constatation une interprétation certaine de la coupe du Cuinier, dans laquelle le Jurassique inférieur de la falaise constitue le flanc normal supérieur d'un pli anticlinal à plan axial horizontal faisant suite au pli de Norante, mais dans lequel l'intensité plus grande du plissement a entraîné la suppression par étirement de la totalité du flanc médian remplacé par une surface de discontinuité horizontale,

Si l'on examine ce qui se passe au S.-E. du ravin de Norante, on voit que les couches continuent à y affecter la forme d'un anticlinal dont la portion centrale est constituée par les marnes bathoniennes et oxfordiennes du flanc S.-E. du ravin, et qui est indiqué ensuite par l'allure du Jurassique supérieur formant la barre qui relie la crête des Dourbes au Haut Château de Norante.

L'anticlinal se continue ensuite dans les couches crétacées ; on

le voit, encore légèrement déversé, se dessiner très nettement dans les contours des stratifications si nettes du Barrémien, au-dessus du village de Saint-Jacques ; il s'annule enfin en aboutissant au synclinal tertiaire de la Vallée de Clumane.

Le décroissement graduel du pli est ici manifeste : au Cuinier, et aussi, sans aucun doute, plus au nord, vers Digne, le pli des Dourbes est un pli couché à grands recouvrements, à flanc médian supprimé par étirement ; à Norante, le pli est encore couché, mais le recouvrement est de peu d'importance ; au col de Chaudon et au-dessus de Saint-Jacques c'est seulement un pli légèrement déversé ; et enfin, à l'arrivée dans la vallée de Clumane, les couches ont repris une régularité à peu près complète et le pli peut être considéré comme terminé.

Un exemple de même nature, mais sur plus petite échelle, peut être observé près de Séranon (Alpes-Maritimes). On peut suivre, en venant vers cette localité, de la région d'Escragnoles, la crête élevée de la montagne de l'Audibergue, dont le versant nord constitue entre Andon et Escragnoles le flanc normal supérieur d'un des plis anticlinaux si régulièrement couchés vers le sud que l'on rencontre dans cette partie des Alpes-Maritimes.

En arrivant au Val de Séranon, cette crête s'abaisse, et, peu après sa traversée par la route de Caille, on voit le Jurassique supérieur qui la constitue s'enfoncer sous le Néocomien après avoir dessiné très nettement, comme à Norante, le relèvement du pli par son passage graduel de la structure couchée à la structure simplement déversée.

Ces deux exemples sont bien typiques, et on peut y rapporter un certain nombre de phénomènes analogues et très peu différents, notamment le décroissement du pli de la Maline, près de Levens Basses-Alpes), du pli de Peyroules, près de St-Auban (Alpes-Maritimes), du pli de Fox-Amphoux, au nord de Salernes (Var), du pli d'Aups-Moissac-Régusse, à l'ouest de la première de ces localités, dans le Var (1).

Le cas d'un pli fortement déversé se relevant et s'atténuant ensuite peut être considéré à la rigueur comme un cas général. On peut cependant regarder comme type un peu à part le cas particulier d'un pli presque droit s'atténuant et s'annulant

(1) Ces deux derniers plis sont représentés par plusieurs coupes successives en montrant bien le décroissement dans ma note sur les zones plissées de Salernes et d'Aups (*B. S. G. F.*, 3^e série, T. XX, p. 4178).

ensuite sans les complications du relèvement des couches et de la réapparition du flanc médian. Les exemples de fins de plis de cet ordre sont moins fréquents dans la région que j'ai étudiée que ceux du type précédent. On peut toutefois citer la fin du pli de la Serrière de Lagne, à l'ouest de Comps (Var), et, dans la même région, la terminaison du grand pli du Signal d'Aiguines.

Ce qui vient d'être dit se rapporte à des plis anticlinaux. Les plis synclinaux présentent des phénomènes analogues, mais moins faciles à observer quand il y a déversement, le pli synclinal étant alors le plus souvent oblitéré par le pli anticlinal voisin.

Je me bornerai donc au cas de plis non déversés, mais cependant assez accentués pour que le décroissement puisse être bien net, et je citerai comme exemple le synclinal néocomien d'Enboug-Marignol-Pavillon, qui s'étend entre le synclinal de Venasclé, à l'est de Moustiers-Sainte-Marie (Basses-Alpes), et le synclinal de Mayaïche-Levens. Ce pli est très fortement accusé près d'Enboug, il va ensuite en s'atténuant jusqu'au signal de Pavillon, et plus au sud les couches du Jurassique supérieur ne montrent plus de traces observables du pli, dessinant au contraire un anticlinal résultant du raccordement des deux plis de même genre qui limitaient à l'est et à l'ouest le synclinal disparu.

Les observations qui précèdent me paraissent établir bien nettement l'existence, dans les plis étudiés, de modifications continues d'intensité amenant le pli à passer graduellement d'une amplitude très considérable à une amplitude nulle ou au moins inappréciable.

Avant de rechercher à quelles causes il est possible de rapporter ces phénomènes, remarquons tout d'abord qu'on peut considérer comme démontré que la formation des plis a eu une durée notable.

Deux alternatives se présentent alors, une fois ce principe reconnu, pour expliquer les phénomènes ci-dessus décrits :

Ou bien le dessin des plis s'est accusé dès l'origine et les différences d'amplitude observées ont ensuite été le résultat de différences d'accentuation des diverses parties du pli.

Ou bien certaines portions de la surface se sont plissées *après les autres*, et les différences d'amplitude sont la trace de la propagation du plissement des parties plissées à l'origine vers celles qui ne l'étaient pas.

On va voir que c'est la deuxième hypothèse qui est la vraie.

En effet, la naissance simultanée, à l'origine, de l'ensemble d'un pli, n'est admissible que si les efforts mis en jeu, combinés aux résistances à vaincre, ont pu produire à ce moment initial, sur

la zone qui s'est plissée, un effet homogène. Ce serait, par exemple, le cas exceptionnel où la masse à plisser aurait été parfaitement homogène, et où l'effort de plissement aurait été constant sur une certaine longueur. Or, cette hypothèse de l'homogénéité de l'effet à l'origine est absolument contraire à la possibilité, en suite, d'une accentuation notablement différente des diverses portions du pli, et il découle de là qu'il n'est pas possible d'admettre qu'un pli montrant une variation importante d'intensité, le réduisant à s'annuler à une de ses extrémités, puisse être le résultat de la modification d'un pli rudimentaire originel.

Les décroissements graduels des plis ne pouvant être attribués à cette cause, c'est la deuxième hypothèse, ainsi que je l'ai fait prévoir, qui est la seule admissible, et on est conduit ainsi à conclure que *les plis ne se sont pas formés en même temps sur toute leur longueur, mais bien par propagation à partir d'un plissement originel.*

Et cette conclusion permet d'arriver alors à la notion du *sens de propagation* d'un pli, qui est ainsi *celui de son décroissement actuel.*

ÉTUDES DANS LES ALPES FRANÇAISES

(STRUCTURE EN ÉVENTAIL,
MASSIFS AMYGDALOÏDES ET MÉTAMORPHISME.)

(Pl. IV, V et VI)

par **M. Marcel BERTRAND** (1).

Les études que je poursuis depuis quatre ans en Maurienne et en Tarentaise, tout en laissant encore pour moi bien des problèmes en suspens, me permettent cette année de présenter un premier travail d'ensemble sur ces régions. Les difficultés qui m'ont longtemps arrêté sont liées directement ou indirectement à la question de l'âge des schistes lustrés de la zone frontière, formation importante et souvent discutée, dont les affleurements occupent dans cette partie la plus grande étendue superficielle. J'avais annoncé en 1889, à la suite d'une excursion faite en commun, par M. Potier et par moi avec MM. Zaccagna, Mattiolo et Franchi, que la solution de Lory devait être abandonnée et que celle de nos confrères italiens me semblait désormais inattaquable. Mon raisonnement était le suivant : la coupe de l'Ubaye, décrite par M. Zaccagna, et que je croyais vérifiée par de nombreux géologues, montrait les schistes lustrés au-dessous des quartzites du Trias et même au-dessous du Permien. D'un autre côté, la coupe de Savoulx, *la seule* donnée par Lory dans cette zone pour prouver l'âge triasique des schistes lustrés, se trouvait, par suite de l'intercalation d'un petit banc de quartzite entre les calcaires du Muschelkalk et les schistes lustrés superposés, s'expliquer par un renversement, et prendre par suite une signification tout opposée. Dès lors le désaccord entre les deux coupes n'était qu'apparent et la difficulté disparaissait.

(1) Communication faite dans la séance du 22 Janvier 1894. Manuscrit remis le 19 Février 1894. Epreuves corrigées par l'auteur parvenues au Secrétariat le 20 Mars 1894.

C'est du moins ce que j'ai dit alors, sans peut-être songer assez que si Lory n'avait publié qu'une seule coupe, il en avait observé beaucoup d'autres, et que l'ensemble seul avait déterminé sa conviction. Comme l'a excellemment dit M. Zaccagna, dont la conviction contraire n'est pas non plus fondée sur la seule coupe de l'Ubaye, un exemple unique ne peut faire loi dans des régions aussi compliquées et aussi complètement dépourvues de fossiles, où l'on peut toujours craindre une erreur d'interprétation. La conclusion tirée en un point, si elle est exacte, doit se retrouver en beaucoup d'autres, et l'accumulation des arguments est nécessaire pour en faire une preuve.

J'aurais dû me souvenir aussi que Gerlach, dont la conscience et l'habileté comme observateur n'ont jamais été mises en doute, avait été de son côté dans les Alpes pennines, pour les mêmes complexes de couches, amené à regarder la solution de l'âge triasique comme la plus probable, avec des arguments surtout fondés sur des passages latéraux. En réalité, malgré les nouveaux poids jetés dans la balance par M. Zaccagna, la question restait douteuse et notre conviction était prématurée. Les études pour la carte de la région ont donc été commencées dans les plus mauvaises conditions, avec l'illusion d'une certitude au sujet d'un des points de départ, encore insuffisamment démontré.

Heureusement, comme je l'ai dit autre part, la stratigraphie de montagne où la constatation des superpositions ne suffit plus à résoudre tous les problèmes, a, elle aussi, des lois assez précises et assez bien connues maintenant pour avertir d'une erreur, et pour ne pas laisser persister dans une fausse voie. Malgré les difficultés spéciales résultant de l'existence presque constante d'une *structure monoclinale*, l'incertitude du point de départ a fini par se traduire dans les résultats. Il y a deux ans, je suis arrivé à des coupes, dont l'explication, simple en elle-même, me paraissait incompatible avec celle des coupes voisines ; j'étais si profondément persuadé de l'âge ancien des schistes lustrés, que j'ai examiné toutes les hypothèses, sauf celle du rajeunissement de ces schistes. Mais cette année, en remontant plus au nord, j'ai trouvé, à la Grande-Sassière, d'autres coupes qui sont, *en elles-mêmes*, inexplicables si les schistes lustrés ne sont pas du Trias. Il fallait dès lors rechercher s'il n'y avait qu'une espèce de schistes lustrés, et si dans ce cas, les coupes des autres massifs pouvaient s'accorder avec la solution triasique. J'ai prié M. Terrier de revoir avec moi les coupes voisines de la région qu'il a étudiée, et ensuite M. Kilian de m'accompagner dans l'Ubaye que je ne

connaissais pas encore. Je suis revenu de ces courses avec une conviction bien établie, que je me proposais seulement, et que je me propose encore de confirmer dans la prochaine campagne par l'examen des points restés douteux. Mais en mettant au net mes cartes et mes coupes, j'ai vu la structure générale en ressortir avec tant d'évidence, et la continuité si bien indiquer les solutions restées en suspens sur le terrain, que je n'ai pas hésité à publier dès maintenant les résultats. J'aurai soin d'indiquer les interprétations qui ont encore besoin d'une vérification ; mais aucune de ces interprétations ne me semble pouvoir être modifiée par de nouvelles observations que dans des détails secondaires, et je considère les conclusions comme définitives.

En l'absence de fossiles, il s'agit ici d'un problème stratigraphique, et les conclusions relatives à l'âge des schistes lustrés sont intimement liées aux conclusions relatives à la structure générale ; ce sont ces dernières seules qui, par une sorte d'effet réflexe, donnent toute leur valeur et leur signification aux coupes locales d'où elles sont tirées. Elles seules aussi me semblent permettre d'introduire de l'ordre dans ces descriptions un peu complexes. Ces conclusions subsisteraient d'ailleurs, avec quelques exceptions restant à l'état d'énigmes provisoires, si les schistes lustrés n'étaient pas triasiques. Ce sont donc elles, un peu contrairement à l'ordre naturel, que je crois devoir développer dans cette première note, avant d'aborder les discussions de détail relatives à l'âge des schistes dans les différents massifs.

STRUCTURE EN ÉVENTAIL DES ALPES FRANÇAISES. — Le trait caractéristique et *essentiel* de la structure des Alpes françaises est la structure en éventail. Sauf de rares exceptions, les plis de l'ouest se couchent vers la France et les plis de l'est se couchent vers l'Italie. Du Briançonnais à la Tarentaise, ce caractère s'accuse partout avec une égale évidence, et quoique Alph. Favre ait dit depuis longtemps que la zone houillère qui fait le centre de cet éventail est renversée à l'est comme à l'ouest sur les terrains plus récents, quoiqu'on sache depuis longtemps que ces deux plongements inverses se continuent de part et d'autre jusqu'aux bords de la chaîne, il est remarquable que l'attention n'ait jamais été appelée sur cette structure. Les raisons en sont diverses : d'abord cette zone houillère (dont Lory avait bien reconnu pourtant la position centrale) ne comprend pas les plus hauts sommets ni les affleurements de roches cristallines ; il y a donc une sorte de paradoxe géographique et géologique à en faire l'axe de la chaîne. De plus

on connaît excentriquement d'autres massifs construits en éventail, parmi lesquels, en France, celui du Mont Blanc est le plus important, le plus souvent décrit, et aussi le mieux fait en apparence pour être choisi comme type d'un massif central. Or il est clair que le M^t Blanc n'interrompt que momentanément la tendance des plis occidentaux à se coucher vers l'ouest, et de là, devait résulter l'idée que la structure en éventail n'est qu'un accident local. Enfin, et surtout, aucun des géologues qui ont étudié le versant oriental n'a cru y reconnaître l'évidence d'une structure plissée ; sauf en quelques coupes de M. Zaccagna, notamment au M^t Viso, le métamorphisme de plus en plus accusé des assises et l'absence d'horizons nettement reconnus a porté (voir surtout les coupes de M. Baretto) à ne voir dans les couches du versant italien qu'une immense succession d'assises régulièrement superposées, ou encore, comme le croyait Lory, interrompue par des failles verticales. Les plissements, comme on devait s'y attendre, se sont pourtant fait aussi sentir de ce côté, et même, semble-t-il, plus énergiquement que sur l'autre versant.

Je dois ajouter que, même une fois cette structure en éventail reconnue pour la Maurienne et le Dauphiné, on comprend qu'on n'y ait attaché qu'une médiocre importance, et que le phénomène ait pu sembler, comme au M^t Blanc, un phénomène local. En effet, la bande houillère se continue au-delà du Petit Saint-Bernard jusqu'au Valais, et sur ce parcours, elle cesse de présenter le même caractère, tandis que de l'autre côté, au sud de Briançon, la bande disparaît complètement. La structure en éventail n'en continue pas moins de part et d'autre ; seulement, en Suisse la zone de l'éventail *s'élargit* en se compliquant de nombreux plis secondaires ; et au sud, au contraire, elle *s'abaisse* en ne laissant plus affleurer que des couches tertiaires. Je dirai quelques mots en terminant de ces régions voisines, mais je dois ici naturellement surtout m'attacher à l'examen de la partie que j'ai personnellement étudiée en Maurienne et en Tarentaise.

Coupe de la vallée de l'Arc. — *Permien de Modane.* — La première coupe à examiner est celle de la vallée de l'Arc. Les plis d'aval, à l'ouest de St-Michel, avec leur pendage constant vers l'est, ont été bien décrits par Lory, et M. Kilian a ajouté des détails intéressants, en montrant l'amplitude des renversements dans la région des sommets, notamment à la G^{de} Moenda. De l'autre côté des schistes houillers, plissés très irrégulièrement, et qu'il faudrait étudier dans les sommets pour se faire une juste idée de leur allure, on arrive près de St-André,

à la colline de schistes plus cristallins sur laquelle est construit le fort du Sappey. Ce sont ces schistes que Lory considérait comme des gneiss chloriteux, amenés au jour par une faille, et dont M. Lachat d'abord, puis plus récemment M. Zaccagna ont bien montré la position intermédiaire entre le Houiller et les quartzites du Trias. L'abondant développement des phyllites arrive à y masquer à peu près l'origine détritique, et les gros noyaux de quartz et de feldspath rappellent même par places l'aspect de gneiss œillés. Il est facile de se convaincre sur place, à Modane, que ces noyaux ont pour origine de véritables galets, quelques-uns encore nettement roulés, mais la plupart déformés par la pression ou surtout par les phénomènes de recristallisation postérieure. Quant à l'origine détritique, elle ressort aussi nettement du passage graduel, d'une part au Houiller et de l'autre, par l'intermédiaire de quartzites phylliteux, aux quartzites du Trias. Malgré la belle étude de M. Termier, si définitivement probante à mes yeux, quelques doutes sont encore émis au sujet de certaines des couches attribuées dans les Alpes au Permien. Il importe de rappeler en tout cas que *ces doutes ne peuvent exister* pour les couches de Modane, qu'on peut suivre sur plus de 40 kilomètres, intercalées entre le Houiller et le Trias, et passant également d'une manière insensible à l'un et à l'autre de ces étages. La limite inférieure à donner à cette division est seule obscure, et même arbitraire ; M. Termier a choisi près de Bozel un gros banc quartziteux qui n'a qu'une existence et une importance locales ; il a d'ailleurs précisé avec une netteté parfaite les conditions du problème, et toutes mes observations en Tarentaise s'accordent avec ses conclusions : on est amené à donner le nom de Permien à *un faciès de métamorphisme, qui va en s'accroissant de l'ouest à l'est, et descend, en même temps, de plus en plus bas dans la série*. La limite lithologique qu'on peut suivre ainsi ne correspond pas à un même niveau stratigraphique ; en admettant qu'à Modane l'ensemble des couches métamorphiques occupe à peu près la place du Permien, à l'est dans la Vanoise, et plus nettement encore dans les massifs de l'Aiguille du midi et du M^t Pourri, dans ceux du Ruytor et du Val Grisanche (1), cet ensemble embrasse certainement le Houiller (peut-être même des couches plus anciennes), comme le prouvent les lits ou les nids à faciès houiller partiellement et localement échappés au métamorphisme. Le point important et incontestable, c'est que,

(1) Le Val Grisanche nous amène à la région des *Casanna Schiefer* de Gerlach, qui, dans cette partie du moins de la Suisse, sont bien certainement pour moi, comme l'a dit M. Suess dès 1869, du Permien ou plutôt du *Permo-Houiller*.

dans cette partie des Alpes, la sédimentation a été continue et continuellement active du Houiller à la base du Trias; le seul horizon qu'on puisse espérer suivre et qui puisse marquer une date dans cette puissante accumulation, c'est le poudingue quartzeux du sommet du Houiller. Je crois, sans avoir pu en trouver la preuve définitive, que les schistes à noyaux (pseudo-gneiss glanduleux) de Modane en sont la continuation; mais comme ces bancs ne forment nulle part une limite à l'action métamorphique, on y a attaché peu d'importance, et on n'a pas jusqu'ici essayé d'en tracer les contours (1).

Cette question demanderait évidemment d'autres développements que je ne puis donner ici; mais il importait de fixer au début le sens dans lequel j'entends le mot de Permien appliqué aux schistes de Modane, et celui de Permo-Houiller que j'appliquerai aux schistes métamorphiques des chaînes plus orientales (2).

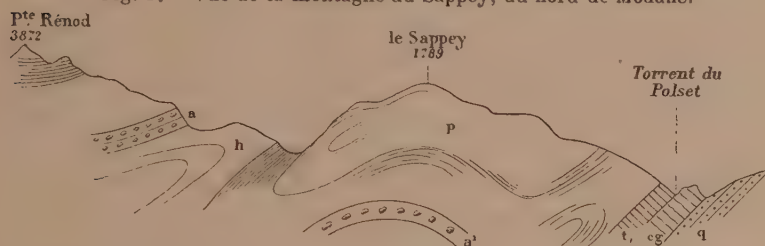
Rive droite de l'Arc jusqu'à Aussois. — Dans la vallée même, près de Saint-André, les rapports du Permien et du Houiller sont peu nets (route de Saint-André), par suite du passage par alternances de l'un à l'autre faciès. Dans la montagne du Sappey, la stratification est difficile à suivre au milieu des clivages et des cassures des bancs. C'est seulement de l'autre rive, près du Fresney, que j'ai pu, par un bon éclaircissement, tracer le croquis ci-joint (fig. 1). Les plis secondaires, auxquels est dû l'élargissement de la bande permienne ne semblent pas se continuer bien loin; en tout cas je n'ai pu les suivre; mais le plongement du Permien sous le Houiller et du Trias sous le Permien (très aminci à partir de Polset), souvent même avec

(1) Il existe près du col d'Aussois des bancs de poudingues, signalés par Lory et étudiés par M. Termier: mon impression avait été, sur place, de les rapporter à un niveau supérieur correspondant, peut-être au Grès vosgien; je doute un peu maintenant que cette impression soit exacte. Je donnerai d'ailleurs une idée de la difficulté de la question, en rappelant que M. Termier n'a pas pu suivre ce niveau du col d'Aussois dans le massif même de la Vanoise, où il se trouvait amorcé; à plus forte raison, le raccordement à distance avec les massifs voisins doit-il rester encore douteux.

(2) Le désaccord avec M. Zaccagna, dont les importantes études ont fourni le point de départ de nos recherches, tient, je crois, à ce que M. Zaccagna limite partout l'extension du Permien à un degré donné de métamorphisme, celui qu'il a observé et reconnu dans les Alpes apuennes. En essayant de faire, pour chacun des massifs alpins, ce qu'il a fait pour le massif italien, c'est-à-dire en essayant, pour chacun d'eux, de fixer *stratigraphiquement* l'âge des assises métamorphiques, en cherchant de plus à suivre dans les couches non pas un faciès étroitement défini, mais les *progressions d'un même faciès*, nous croyons être, plus que lui, d'accord avec sa méthode et avec son point de départ.

une inclinaison très faible, se voit avec netteté jusqu'au col de Chavière, dont M. Termier a décrit la coupe. Les schistes du col

Fig. 1. — Vue de la montagne du Sappey, au nord de Modane.



h, Houiller; *a*, poudingue houiller; *p*, Permien; *q*, quartzites; *cg*, cargneules; *t*, calcaires du Muschelkalk supérieur.

que M. Termier a considérés comme permien, semblent le prolongement des schistes à faciès franchement houiller du versant de Modane.

De l'autre côté du Sappey (fig. 2), les quartzites triasiques sont, dans

Fig. 2. — Coupe de la rive droite de l'Arc, entre Modane et l'Esseillon ($\frac{1}{80000}$).



p, Permien; *q*, quartzites; *t*, calcaires phylliteux et calc. compacts du Muschelkalk inférieur; *t*, calcaires francs (Musc. sup.); *cg*, cargneules; *gy*, gypses; *sch*, schistes lustrés (1).

le bas de la vallée, séparés du Permien par les cônes de déjection; le long du torrent de Polset, on peut voir les cargneules (Muschelkalk

(1) Les notations et les figurés sont les mêmes pour toutes les coupes du mémoire. Je les donne ici d'une manière générale, et ne les reproduirai pas au bas de chaque figure :

h, Houiller { hachures parallèles à la stratification, pour les schistes; croix pour *p*, Permien { les parties métamorphiques.

q, quartzites (pointillés).

t_m, Muschelkalk inférieur; barres normales à la stratification, avec points intermédiaires, pour les calcaires; hachures pour les schistes; lignes ondulées parallèles à la stratification pour les gypses (*gy*). perpendiculaires à la stratification pour les cargneules (*cg*).

t_s, Muschelkalk supérieur (calcaires francs); barres normales à la stratification.

cg, cargneules; hachures ondulées, perpendiculaires à la stratification.

sch, schistes lustrés, hachures parallèles à la stratification.

eb, éboulis.

Les différents figurés sont d'ailleurs les mêmes que ceux de la planches de coupes. L'échelle des hauteurs est la même que celles des longueurs pour toutes les coupes où l'échelle est indiquée; pour les autres, les hauteurs sont à volonté.

inférieur) et même des lambeaux de calcaire franc (Muschelkalk supérieur) s'intercaler. Cet ensemble plonge sous les schistes métamorphiques, qui le surmontent même presque horizontalement, vers le haut de la montée de Polset. Il n'y a pas de couches intermédiaires renversées; il y a donc faille, comme le pensait Lory, mais *faille d'étirement*, parallèle aux bancs.

La coupe se suit sans difficulté sur la route du Bourget, faisant apparaître, toujours avec le même pendage, le Permien supérieur (quartzites avec galets de quartz, bésimaudite supérieure de M. Zaccagna), puis deux fois les quartzites et les cargneules. On arrive ainsi au roc Tournié, masse calcaire isolée au milieu du gypse, par éboulement plutôt que par pli, et célèbre par ses cristaux d'albite. A partir de ce moment, la route et la vallée deviennent à peu près parallèles aux plis, et l'on reste jusqu'à Avrieux dans les quartzites, fortement inclinés vers le thalweg. C'est sur eux que reposent les calcaires de l'Esseillon, après une nouvelle ondulation qui fait affleurer à Avrieux des schistes noirs, argileux, en relation incontestable avec les cargneules et les calcaires marbre de la base du Muschelkalk. Les gypses qui viennent ensuite me semblent appartenir en majorité au Trias supérieur; mais par suite d'un phénomène déjà indiqué par M. Kilian (1), il y a eu là, comme en

(1) Cette gypsification du calcaire du Muschelkalk, rendue évidente par l'existence de petits morceaux ou de gros blocs de calcaires inaltérés au milieu du gypse, m'avait jusqu'ici semblé difficile à expliquer. Je repousse absolument toutes les hypothèses qui ont recours à l'action de sources d'acide sulfurique ou de sulfates, et je considère comme tout à fait insuffisante celle qui invoque l'oxydation des pyrites disséminés dans les calcaires intacts. J'ai toujours cru plus probable que le gypse des couches supérieures, entraîné par les eaux d'infiltration, avait pu se redéposer à la place du calcaire, dissous à son tour par les mêmes eaux. Mais il restait à préciser le mécanisme de cette double action qui, à priori, au moins sous cette forme, semblait peu d'accord avec les lois de la chimie. M. Le Chatelier m'a donné dernièrement l'explication que je cherchais : les eaux qui passent sur du gypse, ne peuvent pas le redéposer plus loin, dans les points où elles dissolvent du calcaire, parce que ces eaux *ne serent jamais sursaturées de sulfate de chaux*. Mais il en est autrement, si les eaux passent d'abord sur du plâtre ou *sur de l'anhydrite* : ces deux corps peuvent en effet fournir des *solutions sursaturées*, pour lesquelles une nouvelle dissolution de chaux rompt l'équilibre instable, et permet la précipitation d'une partie du sulfate de chaux, sous forme de gypse. Le phénomène ainsi amorcé peut se continuer indéfiniment, ou du moins tant qu'il reste des masses d'anhydrite à dissoudre sur le trajet.

Or, dans les Alpes, l'anhydrite est rare à la surface, mais se trouve partout en profondeur ; c'est la forme sous laquelle le sulfate de chaux s'est déposé dans les mers du Trias. La transformation de cette anhydrite en gypse a pu se faire de deux manières, ou sur place par simple hydratation, ou après transport, à la suite de solution et de reprécipitation. Ainsi s'expliquerait le fait, autrement incompréhensible, que les calcaires transformés en gypse sont exclusivement les calcaires du Trias, c'est-à-dire les calcaires auxquels étaient primitivement superposées des masses d'anhydrite. Il résulterait aussi de cette explication que, partout où l'on rencontre de l'anhydrite, on peut être certain qu'on a affaire à un dépôt originel, c'est-à-dire à un *dépôt de lagunes contemporaines*.

beaucoup d'autres points de la région, *gypsification* des calcaires du Trias moyen. Il devient dès lors très difficile de suivre en amont les divisions d'étages, et, comme d'ailleurs la vallée se met de plus en plus en direction, il convient de poursuivre la coupe le long de la vallée de Bramans et du petit Mont Cenis (fig. 3).

La pente est toujours la même, c'est-à-dire vers l'ouest; après les gypses, dans lesquels se montre intercalée, au Jeu, une lentille de schistes lustrés, pouvant représenter soit un pointement anticlinal (1), soit une cuvette synclinale, on rencontre les calcaires francs du Muschelkalk, de grandes masses de cargneules, puis les calcaires.

Fig. 3. — Coupe de Bramans au petit Mont Cenis ($\frac{1}{80000}$).



Mêmes notations que pour Fig. 2.

les schistes calcareux et enfin les quartzites de Bellecombe, eux-mêmes superposés aux calcaires phylliteux et cargneules qui s'appuient, en concordance, sur le massif cristallin du Petit Mont Cenis et d'Ambin. Comme M. Termier et comme M. Revil, qui m'y ont successivement accompagné, je rapporte ce massif au Permo-Houiller; les raisons en sont : l'identité avec la Vanoise, pour laquelle les arguments de M. Termier me paraissent irréfutables, la présence de galets dans les couches supérieures, l'intercalation de véritables quartzites feuilletés ou légèrement phylliteux, et le passage insensible avec parfaite concordance aux quartzites triasiques superposés (2).

Coupes parallèles. — Une coupe parallèle plus au nord, passant un peu au nord du col d'Aussois et au sud-ouest de l'hospice du Mont Cenis (pl. V, fig. 1) montre les mêmes plis, faciles à suivre dans l'intervalle, et également couchés vers l'ouest. La comparaison des deux coupes met en évidence : le rapide élargissement du premier

(1) L'hypothèse d'un pointement anticlinal est pourtant peu d'accord avec le fait que les schistes ne descendent pas jusqu'au fond de la vallée.

(2) Les schistes lustrés directement superposés à ces assises cristallines près du lac du Mont Cenis, créaient une sérieuse difficulté à cette interprétation, tant que ces schistes étaient considérés comme paléozoïques; s'ils sont au contraire triasiques, comme je le montrerai, leur présence devient un nouvel argument.

pli, le plus occidental, dans le massif de la Vanoise; l'accident local qui, sur les bords de la vallée de l'Arve, amène une exception momentanée à la constance de l'inclinaison des plis, et enfin plus à l'est, l'intercalation des schistes lustrés. J'ai fait figurer ces schistes dans des synclinaux, conformément à la solution dont je développerai les preuves; mais on pourrait là, également expliquer leur présence par des anticlinaux, et le développement des cargneules et des gypses, qui peuvent appartenir aussi bien à la base qu'au sommet de la série triasique, ne permet pas de trouver dans l'étude du Trias voisin un argument immédiat en faveur d'une solution plutôt que de l'autre.

Je donne enfin une troisième coupe parallèle, passant au sud par la crête des Sarrasins et le glacier d'Etache (pl. V, fig. 2); elle est moins importante pour mon but actuel, à cause de la prédominance des schistes lustrés, qui viennent brusquement s'interposer en un énorme massif de 12 kilomètres de largeur. J'indique seulement que, sur la carte, les ondulations des contours de ce massif, suivies avec soin sur le flanc de la vallée de l'Arve, font ressortir l'existence au moins probable de plusieurs plis successifs, tous inclinés vers l'est. Cette inclinaison est bien marquée, près de l'Arve, par un phénomène assez curieux, observable à l'est du ravin de Saint-Antoine. Ce ravin, presque en face de Modane, montre sur la rive gauche (fig. 4) les quartzites inclinés vers l'ouest, et sur la rive droite les

Fig. 4. — Coupe du ravin de Saint-Antoine.



q, quartzites; cg, cargneules.

gypses s'enfonçant sous les quartzites. Au milieu des gypses, on trouve un petit îlot de quartzites, de quelques mètres de longueur, dont l'explication par le surgissement local d'un pli secondaire est tout à fait invraisemblable. Mais si l'on prolonge les quartzites avec leur même pendage, on voit qu'ils devaient passer par dessus les gypses, et il est tout naturel que, par suite des dissolutions, un lambeau de ces quartzites ait pu descendre verticalement, et être ainsi en partie protégé contre la dénudation superficielle.

Cette coupe du ravin de Saint-Antoine est encore intéressante à un autre point de vue. La bande de quarzites qu'elle figure se termine à quelques mètres, plus au sud, au milieu des cargneules; si l'on compare la coupe, à la coupe de l'autre rive, on voit qu'elle correspond au pli d'Amodon, qui, là, contient déjà du Permien en son centre et qui, plus loin, vers le nord, en s'étalant et en se compliquant de nombreux plis secondaires, correspond à toute la partie centrale du massif de la Vanoise. Presque tout le faisceau des plis décrits par M. Ternier vient se terminer à cette pointe étroite *et n'a pas de continuation plus au sud*. J'aurai à revenir sur ce fait, qui se reproduit fréquemment, et qui me semble d'une importance capitale dans l'étude de la structure des Alpes.

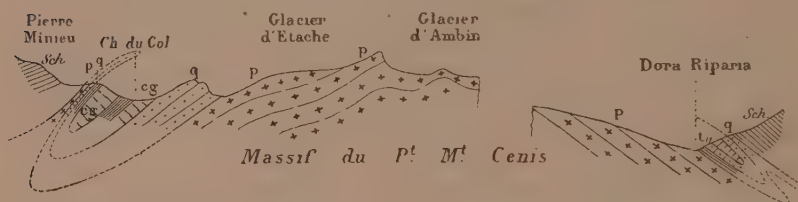
Versant italien. — J'ai vivement regretté de ne pouvoir suivre sur le versant italien la continuation de tous ces plis. Celui de Bellecombe et du M^t Cenis a été reconnu par MM. Zaccagna et Mattiolo jusqu'au dessus de Novalesa, sur la pente de Roche Melon; de là, il ne peut guère faire autrement d'après les directions des couches que de remonter au nord en embrassant le grand massif des roches vertes des vallées de Balme et de Stura, puis même plus loin tout le Grand Paradis; et comme les autres plis se continuent directement vers l'est, on peut dès maintenant prévoir que le Grand Paradis et le faisceau de plis qui lui correspondent *se ferment au sud sans continuation, comme le fait la Vanoise*. Je reviendrai plus loin sur cette question délicate, et encore controversable.

Ce même pli de Bellecombe descend au sud jusqu'à Savoulx, où j'ai pu voir nettement dans les quelques courses où nos collègues italiens ont bien voulu me guider, qu'il se contournait vers l'est jusqu'à Suse. La continuité exigerait alors qu'il se retournât plus loin vers le sud; je ne sais si cette hypothèse est fondée, ou si peut-être ce retournement n'a lieu que sous les alluvions de la plaine du Pô. Mais ce qui est certain, d'après l'étude des environs d'Oulx (voir le schéma, pl. VI), c'est que le pli de la vallée de la Doire, jusqu'à Suse et le pli de Bellecombe ne sont qu'un *seul et même pli*, très sinueux, entourant en demi-ellipse le massif du M^t Ambin (petit M^t Cenis), et sur ce parcours *ne se raccordant avec aucun autre pli*.

Que les schistes lustrés soient triasiques ou paléozoïques, la conclusion est la même, et ce pli sinueux est partout couché vers le massif cristallin qu'il entoure, c'est-à-dire *vers le pli qui lui fait suite du côté de l'Italie*. Une coupe dirigée vers le nord-ouest, d'Exilles à

Etache, montre (fig. 5) sur les deux côtés du massif cristallin, des plis couchés, l'un vers l'autre. L'extraordinaire ressemblance de la

Fig. 5. — Coupe du massif du Petit Mont Cenis, d'Etache à Exilles ($\frac{1}{80000}$)
(rencontrant deux fois les plis écrasés qui entourent le massif).



p, Permo-houiller ; q, quartzites ; cg, cargneules ; t, calc. triasique ;
sch., schistes lustrés.

structure si spéciale de ces deux plis serait un argument de plus pour n'y voir qu'un seul et même pli, localement dévié en se renversant toujours sur le même synclinal. Mais la continuité (continuité des schistes lustrés, continuité de la bande mince de quartzites et de la bande plus large des calcaires) suffit à écarter la possibilité de toute autre hypothèse. J'insiste sur ce point parce qu'il y a là certainement, entre Savouls et Suse, un pli du versant italien qui est couché vers le nord-ouest, c'est-à-dire vers la France, et qui semble ainsi constituer une exception à la règle énoncée. Partout ailleurs, sur le versant italien, les couches ont leur pendage général vers l'est, et par conséquent, les plis qui existent incontestablement sont couchés vers l'ouest. Il importe donc de remarquer que l'exception apparente est due à une sinuosité des lignes de plissement, et que la règle conserve sa généralité, si on la met sous la forme suivante : tous les plis, à l'est de la zone centrale (bande houillère) se renversent sur le synclinal qui leur fait suite du côté de l'Italie. Il y a là une remarquable analogie avec la règle que j'avais autrefois énoncée pour la Provence.

En résumé, dans toute la partie méridionale de la région étudiée, aussi bien sur le versant français que sur le versant italien, le pendage des couches qui, à l'est de la bande houillère, était uniformément vers l'est, change de sens et est uniformément vers l'ouest, passant seulement au nord-ouest ou au sud-ouest, ou même au nord ou au sud, quand les plis s'infléchissent autour de leur direction moyenne. Il n'y a qu'une exception peu importante, sur la rive droite de l'Arc, entre Bramans et Thermignon. Partout ailleurs les plis sont

rigoureusement *isoclinaux*, et le pendage moyen est beaucoup moins fort (les renversements, par conséquent, beaucoup plus accusés) que ne le sont les pendages inverses de l'autre côté de la bande houillère.

Coupe de Bonneval. — Au nord de la vallée de l'Arc, dans le massif de la Vanoise, les coupes de M. Termier montrent bien le renversement général vers l'est. On ne peut considérer comme une exception sérieuse le contournement des couches au glacier de Roselin (coupe n° 7, pl. IV) et à celui des Grands Couloirs (coupe n° 6, pl. III) ; les plis de la croix de Losa (coupe n° 12, pl. VI), qui d'ailleurs ne m'ont pas semblé tout à fait aussi compliqués, ne sont que la continuation de ceux que j'ai signalés (pl. V, fig. 1) plus au sud, et ils n'ont qu'une bien faible importance. Je connais sur la même ligne deux autres exceptions, à l'ouest du chemin de Thermignon au col de la Vanoise, près de Belle-Combe, et à l'est du même chemin, à la descente sur Entre-deux-Eaux ; dans ces deux points le Permien métamorphique est couché vers l'ouest sur le Trias. Ce n'est pas une nouvelle exception : c'est simplement la continuation de l'accident de la Losa et du bord de la vallée de l'Arc. On peut dire, si l'on veut, qu'il y a là une zone indécise sur le bord de l'éventail, mais avec prépondérance très accentuée du déversement vers l'est. Nous retrouvons les mêmes phénomènes traduisibles par une formule analogue, sur l'autre bord de l'éventail, près de Moutiers.

Il ne serait pas possible d'enfermer dans cette formule le grand recouvrement, décrit et figuré par M. Termier au-dessus d'Entre-deux-Eaux (coupe n° 8, pl. IV, coupe n° 9, pl. V, et texte, p. 67, p. 109 et suivantes). Il y aurait là, incontestablement l'indice d'une énorme poussée vers l'ouest. Mais la coupe suppose que les schistes lustrés sont paléozoïques ; elle prend une tout autre signification s'ils sont triasiques, comme M. Termier et moi nous l'admettons aujourd'hui. Je discuterai la question dans la note qui suivra ce premier exposé.

A l'est de cette coupe, jusqu'à Bonneval, les schistes lustrés, d'abord à peu près horizontaux, sont régulièrement inclinés vers l'ouest ; il en est de même des bandes concordantes de calcaires triasiques et de cargneules qu'on y rencontre ; que ces bandes soient intercalées et contemporaines, qu'elles résultent de plis synclinaux ou anticlinaux, le résultat est toujours le même, les plis, quels qu'ils soient, sont de nouveau couchés vers l'est. Les environs de Bonneval méritent une mention spéciale, parce qu'ils nous montrent les mêmes mouvements s'étendant jusqu'aux gneiss du Grand-Paradis.

Gneiss du Grand-Paradis. — Les gneiss du Grand-Paradis sont des gneiss glanduleux, à grands cristaux de feldspath, qui atteignent la grosseur du poing. Ils ressemblent beaucoup à ceux du massif de l'Adula que j'ai pu visiter avec M. Heim. Comme eux, ils sont recouverts d'une mince enveloppe de micaschistes, qui n'est même pas continue, mais qui, là où elle existe, est, directement et en parfaite concordance, surmontée par des cargneules (Röthi dolomit) ou des calcaires triasiques. L'analogie se poursuit plus loin; car à l'Adula comme à Bonneval, ces cargneules ou ces calcaires séparent le massif cristallin de schistes lustrés, semblables à ceux de notre région, quoique attribués là au Lias par M. Heim (1).

Même avant que la question des schistes lustrés ait reçu une solution définitive, il est impossible de ne pas remarquer que la situation de ces gneiss est *exactement la même* que celle des schistes cristallins du petit Mt Cenis, que comme eux, ils surgissent au milieu des mêmes couches (calcaires et cargneules), presque sur la prolongation des mêmes plis, en forme de dôme ellipsoïdal, et qu'ils sont, comme eux, recouverts en concordance par le Trias. Nous verrons de plus que, *si les schistes lustrés sont triasiques*, il existe, au voisinage, des micaschistes francs intercalés dans ces schistes lustrés, et par conséquent triasiques. En face de ces rapprochements et du *métamorphisme croissant des assises vers l'est*, en y ajoutant l'analogie que présentent déjà certaines assises permienes de Modane avec des gneiss glanduleux, il est au moins permis de se demander, si les gneiss du Grand-Paradis ne représentent pas un terme plus avancé du métamorphisme des assises permo-houillères. L'objection tirée de la structure cristalline de ces gneiss ne serait qu'une fin de non recevoir opposée, à priori et sans fondement, à toute modification des idées reçues sur la question; et quant à celle qu'on voudrait tirer de la présence incontestable, dans d'autres zones alpines, dans la chaîne de Belledonne et près de Lugano, de gneiss et même de micaschistes antérieurs au Houiller qui les surmonte en discordance, j'y verrais, au contraire, un argument de plus en faveur de mon hypothèse. Car pourquoi, si l'on avait affaire sur les deux bords et au centre des Alpes à des roches cristallines du même âge, ces roches seraient-elles sur les bords discordantes avec le Houiller, et dans la partie centrale concordantes avec le Trias?

(1) M. Heim a signalé en plusieurs points des fossiles liasiques (Bélemnites, Gryphées); j'avoue que l'analogie si complète avec la région française, jointe aux intercalations de quartzites, de cargneules et de gypse, me porte à croire qu'il y a là seulement des synclinaux de Lias pincés dans une masse de schistes triasiques.

Cette question est d'ailleurs indépendante de celle que j'examine en ce moment. Elle ne s'y rapporte que par un point : la concordance de ces assises avec le Trias ; sur ce point capital, quelques détails sont nécessaires.

Roches vertes et calcaires. — Les gneiss du Grand-Paradis entrent en France dans la haute vallée de l'Arc, jusqu'à Bonneval, et occupent tout le massif de la Levanna et de la zone frontière entre les cols de Caro et de Séa. Ils ont en général un pendage modéré vers l'ouest et s'enfoncent dans leur ensemble sous la zone de schistes lustrés qui embrasse à l'ouest les crêtes du Méan Martin, de l'Albaron et du Charbonnel. Cette faible inclinaison fait que leur affleurement s'enfonce très loin, en pointe étroite, dans la vallée, jusqu'au-delà de Bonneval. En aval, se développe une grande masse de roches vertes, principalement des serpentines, qui se montrent au même niveau sur les deux rives ; ces serpentines sont brusquement interrompues sur la rive droite, au-dessous du chalet des Roches, par un accident transversal ; mais sur la rive gauche, où elles reposent d'abord directement sur les gneiss, puis en sont plus loin séparées par quelques bancs calcaires et par une bande assez large de schistes lustrés, elles se continuent jusqu'au pied du glacier du Vallonnet ; de là, après une courte interruption due, sans doute, à la prolongation de l'accident signalé sur la rive droite, on peut les suivre tout autour de l'Ouille de Midi, où seulement, au lieu d'une masse compacte, elles forment une série de veines interstratifiées. En même temps, elles passent latéralement, là, comme partout dans cette zone des Alpes, à des schistes chloriteux et amphiboliques. On peut être tenté, à cause de la brusque cessation de ces roches sur la rive droite, d'y voir une masse intrusive ; mais il est certain pourtant que dans leur ensemble elles suivent et marquent la stratification.

C'est au-dessus de ces roches vertes que se trouve, au nord-est de Bessans, près des granges du Cueigne, un petit affleurement de calcaires, dont M. Zaccagna a donné la coupe ; les calcaires sont associés à une seconde bande moins importante de roches vertes (schistes chloriteux et amphiboliques, avec nids de pyrite cuivreuse). M. Zaccagna considère ces calcaires comme paléozoïques ; d'après leur aspect seul, je les rapporterais au Trias ; mais ils sont très cristallins et le doute serait permis en ce point.

En suivant au nord-est la direction de ces calcaires, ils disparaissent ou du moins je n'ai pas retrouvé leur continuation jusqu'aux fermes de *sur le Clos* ; on les voit de nouveau sur la rive

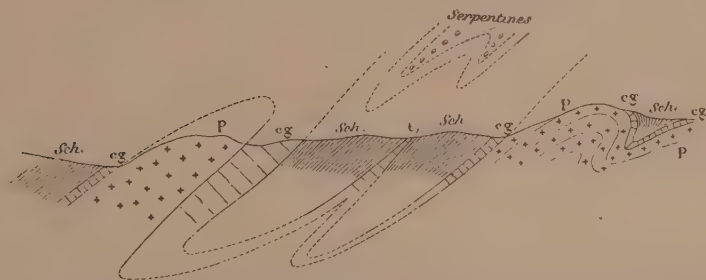
droite du vallon de la Lenta, puis ils se développent sur la rive gauche, ou plutôt là ils se transforment en cargneules, formant deux bandes, dont l'une s'appuie directement sur les gneiss, et dont l'autre, large de plusieurs centaines de mètres, en est séparée par une bande assez étroite de schistes micacés et de schistes lustrés. Il ne peut être douteux que ces cargneules ne soient triasiques, à moins de nier, même pour une région restreinte, la valeur de toute assimilation lithologique. M. Zaccagna, d'ailleurs, les attribue comme moi au Trias, mais il suppose qu'elles reposent en complète discordance sur leur substratum, plus ou moins cristallin. Or, j'ai suivi ces cargneules, ou les calcaires qui les remplacent latéralement, sur plus de 12 kilomètres de longueur, jusqu'à l'Aiguille de Gontière où ils se coincent et disparaissent; sur tout ce parcours, les deux bandes subsistent, et l'on peut toucher, en plus de dix points, le contact avec les gneiss ou avec les schistes qui les entourent. Partout, il y a parfait parallélisme et intercalation manifeste, d'autant plus significative que les assises sont presque horizontales. Aux Verdettes, il y a même trois bandes superposées; la première est directement sur le gneiss; la seconde, séparée par des micaschistes et des calcschistes, disparaît ou se réunit avec la première auprès de l'arête de Gontière, où les calcaires cristallins suivent en lambeaux discontinus le pied du versant occidental; la troisième, épaisse de 50 mètres environ, contenant des calcaires rubannés, par places fragmentés et contournés, et des cargneules très cristallines, souvent bréchoïdes, va finir en pointe dans les névés du ravin qui mène au col des Bouquetins. Au-dessus, le pied de l'Aiguille Rousse est formé par des schistes chloriteux et amphiboliques, alternant avec les schistes lustrés. Cet endroit, plus que tout autre, est probant pour l'intercalation; je trouve même sur mes notes l'indication d'un retour de gneiss, au-dessus du premier banc calcaire. Pour aider à se faire indiquer et à retrouver la place, je peux mentionner la tentative d'exploitation qui a eu lieu, là autrefois (à 2.800 mètres d'altitude) pour des plaquettes d'hématite, qui se trouvent en enduit sur la première masse calcaire ou entre ces bancs.

Je peux donc affirmer, parce qu'il y a là une simple question de fait, sans aucune part d'interprétation, que le calcaire est interstratifié. Il peut l'être, il est vrai, par suite d'un ou de plusieurs plis; c'est l'interprétation à laquelle je m'étais nécessairement arrêté quand je considérais les schistes lustrés comme paléozoïques; c'est toujours elle que je considère comme la plus vraisemblable.

En tout cas, les mêmes calcaires se retrouvent à peu près au même niveau, sur l'autre rive, quoique ne se montrant là qu'en affleurements discontinus : au haut du vallon et au pied de la pointe d'Audagne, contre l'accident transversal des Roches, et à l'ouest du Roc de Pareis. Les deux derniers en contact avec les gneiss, correspondent certainement au niveau inférieur de la rive droite ; pour les deux premiers, situés au dessus des serpentines, le raccordement est moins évident et ils peuvent correspondre, soit au niveau supérieur, soit au niveau intermédiaire.

Il n'en est pas moins vrai que les plis, s'ils existent, se retrouvent sur les deux rives ; que cette sorte de symétrie des deux versants et la régularité des pendages ne permettent pas d'avoir recours à une sinuosité ou à un rebroussement des plis, mais simplement à l'effet de l'érosion dans un grand pli couché, dont la direction générale est normale à celle de la vallée ; c'est-à-dire qu'on est mené immédiatement à l'hypothèse de plis d'une immense amplitude, de douze kilomètres environ de pénétration horizontale (exactement, la pente moyenne est de 5 0/0). Les calcaires triasiques occuperaient les centres de ces plis ; et il faudrait, pour chaque bande, un pli spécial, pénétrant ainsi de 12 kilomètres dans les terrains plus anciens, sans augmenter son ouverture à mesure qu'on s'éloigne de la charnière, et sans prendre nulle part, au moins pour la plus inférieure des trois bandes, une épaisseur supérieure à 50 mètres. C'est bien difficile à admettre. Au contraire tout devient relativement facile, si l'on admet que les deux bandes triasiques représentent, non pas le fond de deux plis distincts, mais les flancs d'un même grand pli (fig. 6). Il est vrai qu'alors, il faut mettre des schistes lustrés

Fig. 6. — Coupe probable du pli de Bonneval.



p, gneiss du G^d Paradis (Permo-Houiller métamorphique ?) ; cg, cargneules ; t, calcaires.

au centre du pli, et par conséquent en admettre l'âge triasique. C'est toujours là qu'il faut revenir, si l'on ne veut pas enlever au Trias ces calcaires et ces cargneules, semblables absolument, au Trias typique et incontesté du voisinage, ou si l'on ne veut pas convenir qu'il reste à Bonneval une difficulté inexpiquée.

Entre les deux séries d'affleurements calcaires, sur la rive gauche, le long du vallon d'Audagne, on trouve une bande importante de micaschistes francs. On retrouve ces roches dans la moraine et dans la grande traînée d'éboulis qui descend de la pointe d'Albaron; je les ai de plus observés en place au-dessus du glacier du Vallonet, au sud de l'Ouille de Midi, et sur la pente rocheuse qui descend des glaciers du Chalanson sur Avérole. Tous ces micaschistes sont intercalés dans les schistes lustrés; leur discontinuité en direction, et les alternances manifestes qu'on observe au sud de l'Ouille de Midi, m'ont empêché jusqu'ici d'attribuer leur présence à un pli. Ce pli, si l'on pouvait en montrer l'existence, serait un anticlinal secondaire dans le centre du grand synclinal. Il n'y aurait là, rien d'impossible; mais les faits paraissent plus favorables à une simple intercalation dans les schistes lustrés.

Sur la rive droite, sur le chemin du Mt Iseran, près de Piedmontet, on retrouve les gneiss du Grand-Paradis; ils forment à l'est du chemin une grande lentille dont les bords sont en partie masqués par le Glaciaire (éboulis de la Cristallière). On doit là, supposer que c'est un pli anticlinal qui fait reparaitre les gneiss au milieu des schistes lustrés. Il est remarquable que là encore une petite bande de cargneules très mince suit, au nord, le contact de ces gneiss et des schistes lustrés. Ce fait semble donner une grande force à l'hypothèse du plissement.

S'il y a pli, ce pli est manifestement la cause des gneiss entre lesquels il s'intercale), *un pli synclinal* probablement compliqué d'un pli secondaire médian qui expliquerait la troisième bande calcaire des Verdettes, et peut-être à la rigueur, l'intercalation des micaschistes.

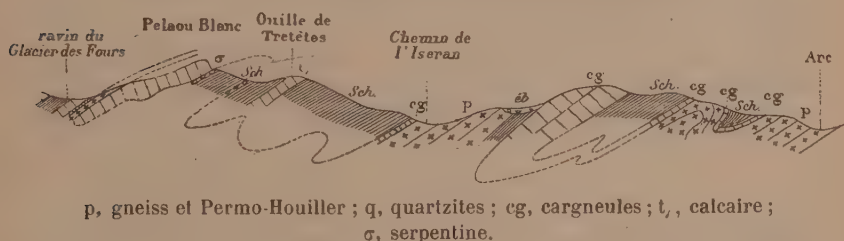
C'est précisément entre les deux bandes de cargneules, c'est-à-dire dans le centre de ce pli synclinal, que sont les serpentines et les roches vertes. Ces roches vertes étant, comme je l'ai dit, partout intercalées en concordance dans les schistes, il semble légitime de s'en servir ici comme horizon auxiliaire, et de penser qu'en les suivant, on suivra, au moins dans son ensemble, le dessin du pli. Or ces roches, très développées le long de la frontière, et tout le long du chemin du col du Lautaret, ont été marquées avec beau-

coup de soin sur le versant italien par MM. Zaccagna et Mattiolo. On voit sur leur carte qu'elles se prolongent en coin vers Suse, et qu'elles s'étendent avec un formidable développement, dans une direction à peu près est-ouest, entre le Grand-Paradis et la vallée de la Doire. La conclusion serait alors la suivante : le pli qui ramène les cargneules triasiques près de Bonneval, après s'être dirigé au sud et au sud-ouest, vers le centre du massif du Petit Mont Cenis, se retournerait vers l'est par une sorte de rebroussement, et engloberait entre ses deux branches toute la masse cristalline du Grand-Paradis. Ce pli viendrait ainsi s'emboîter exactement dans la sinuosité décrite pour le pli de Bellecombe et de Savoulx, c'est-à-dire pour le pli qui entoure le Petit Mont Cenis, et dans cette nouvelle sinuosité le Grand-Paradis occuperait précisément la même position que le Petit Mont Cenis dans celle du pli enveloppant. Le schéma des plis (pl. VI) fait bien comprendre cette disposition, qui sans doute a encore besoin d'être vérifiée, mais qui jetterait un grand jour sur la structure de cette partie des Alpes. Je reviendrai sur les conséquences importantes qu'il semblerait permis d'en tirer.

Le pli synclinal qui engloberait ainsi les calcaires et cargneules triasiques de Bonneval, aurait, si l'on rétablit les parties dénudées, une pénétration horizontale (pente moyenne de 50/0) de douze kilomètres, à moins de supposer, ce qui est possible, une sinuosité dans les lignes directrices en face de la vallée de l'Arc.

Résumé et sens du déversement. — Si maintenant après toutes ces discussions nous revenons au sens de couchement des plis, nous voyons que tous les plis, hypothétiques ou réels, sont couchés vers l'est. Un pli de moindre amplitude, mais nettement déversé, est magnifiquement marqué dans les gneiss (fig. 7), sur la rive droite de la vallée, à quelques centaines de mètres en amont de Bonneval.

Fig. 7. — Coupe de Bonneval au Pelaou-Blanc ($-\frac{1}{80000}$).



p, gneiss et Permo-Houiller ; q, quartzites ; cg, cargneules ; t, calcaire ;
σ, serpentine.

La coupe (fig. 7), prise du Roc de Pareis au Pelaou-Blanc, résume cette structure, et montre de plus, à l'ouest, l'intercalation dans

les schistes lustrés d'une nouvelle bande de calcaire triasique, dans la prolongation de laquelle, comme je le dirai plus loin, l'apparition des quartzites permet, au col Pers, de reconnaître la structure anticlinale.

Coupes de Val d'Isère. — En continuant à remonter au sud, on arrive, à Val d'Isère, à une région d'une extrême complication, où les plis couchés sont nombreux et semblent d'abord un peu couchés dans tous les sens, vers l'est, vers le nord et vers le sud. Quoique il reste encore bien des difficultés de détail, je crois être arrivé à suivre toutes les bandes successives; à part les alentours immédiats de Val d'Isère, où la largeur trop grande des vallées laissera toujours une part à l'interprétation, je considère le schéma des plis, tel que je le donne (pl. VI), comme à peu près définitif. Le résultat est le suivant: les plis, remarquablement sinueux, s'emboîtent les uns dans les autres, et *chaque pli anticlinal se renverse invariablement, tout le long de son parcours, sur le synclinal qui lui fait suite du côté de l'Italie.*

La vallée de l'Isère, au moins depuis les gorges d'amont jusqu'à Tignes et Brévières, suit à peu près l'axe de ces sinuosités emboîtées. Il en résulte qu'elle traverse des couches régulièrement inclinées vers l'aval, et qu'une coupe suivant cette ligne sinueuse montre bien une série de plis couchés vers l'Italie; seulement l'amplitude apparente des plis est notablement augmentée, parce que, si la ligne idéale de coupe est bien normale aux plis, les rochers du bord où on peut la relever, sont déjà presque en direction. Il faut donc un peu schématiser la coupe: telle qu'elle est, c'est celle qui peut le mieux donner l'idée de la structure d'ensemble (pl. V, fig. 3).

On peut compléter cette idée par une coupe normale: par exemple de la Grande-Sassière à Val d'Isère et au Manchet; cette coupe est bien également dans cette partie normale à la direction des plis: mais, traversant deux fois les mêmes plis, elle donne une structure en éventail (pl. V, fig. 4).

Cette structure est peut-être encore mieux marquée dans la coupe parallèle, prise un peu plus à l'est, le long du chemin de l'Iseran, entre les arêtes de Laissière et le rocher du Dôme (fig. 8 et 9).

Fig. 8. — Coupe du Dôme aux arêtes de Laissières ($\frac{1}{50000}$)

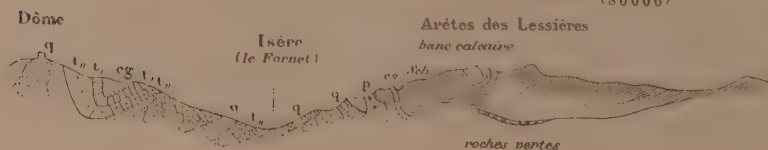


Fig. 9. — Détail de la coupe au-dessus du chemin du col du Mont Iseran.



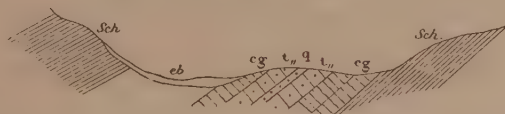
p, Permien; q, quartzites; t_n , calc. phylliteux; t_c , calc. compact; cg, cargneules.

(Légende commune aux figures 8 et 9).

La description détaillée de cette structure, avec toutes les preuves à l'appui, m'entraînerait beaucoup trop loin, et devra faire l'objet d'une note spéciale. Je me contente ici d'énoncer le résultat, et d'appeler l'attention sur quelques points, qui ont de l'importance pour les conclusions finales.

Dans la coupe 3 de la pl. V, la première bande calcaire, en amont des gorges, se continue en pointe jusqu'au col Pers (3015) et de là sans interruption, le plus souvent sous forme de cargneules, va rejoindre celle que j'ai signalée au nord-ouest de Bonneval (fig. 7). Au col Pers, les calcaires et cargneules très cristallins, sont compris entre les schistes lustrés de la zone frontière, contenant comme

Fig. 10. — Coupe du col de Pers.



q, quartzites; t_n , calc. cristallins; cg, cargneules; eb, éboulis.

près de Bonneval des intercalations de roches vertes et de micaschistes, et, de l'autre côté du col, les schistes lustrés, francs et typiques, du Mont Iseran. Or, au col même, au milieu des calcaires, nous avons trouvé, avec MM. Termier et Pierre Lory, un pointement de quartzites. Ce pointement démontre que la bande forme un pli anticlinal (fig. 10).

La même coupe de la pl. V (v. aussi, fig. 11 et 12) montre en aval, au milieu des gorges, une bande de schistes noirs intercalés dans les calcaires; de part et d'autre on trouve d'abord les calcaires francs, puis les calcaires phylliteux; d'après la succession reconnue des assises, ces schistes forment donc le centre d'un synclinal.

J'ajoute que le passage aux calcaires est insensible, et que l'aspect

Fig. 11. — Vue de la rive droite des gorges de l'Isère (gorges d'amont).



Fig. 12. — Coupe prise sur la rive gauche des mêmes gorges.



t_1 , cal. phylliteux (Musch. inf^r) ; t_2 , calc. compacts (Musch. sup^r) ; sch. schistes.
— Les schistes A, marqués sur les fig. 11 et 12, sont, sur les deux rives, dans la continuation les uns des autres, et représentent une seule et même bande.

de ces schistes m'a engagé, sans succès d'ailleurs, à y chercher des fossiles du Lias. Or, cette bande synclinale traverse l'Isère, en s'élargissant et va former tout le versant ouest du Mont Iseran.

Le synclinal figuré au-dessous du Val d'Isère, à l'entrée de la seconde série de gorges, est formé par des cargneules régulièrement superposées à la masse des calcaires francs. Ces cargneules (avec gypses intercalés) s'élargissent sur la rive gauche, et toujours superposées normalement sur leurs deux bords aux calcaires francs, s'ouvrent en deux larges branches, qui, l'une par le pied de Bellegarde et du Charvet, l'autre par la Thouvrière et le col de la Leisse, vont embrasser l'énorme massif de schistes lustrés de la Sana ; je montrerai que ce massif est sur toute son étendue, et sauf quelques plissements locaux, *superposé aux cargneules*. De plus la seconde branche, où s'intercale au-dessus du lac de Tignes le petit pointement anticlinal de la Thouvrière, se bifurque elle-même sur les bords du lac ; tandis qu'une partie se dirige, comme je viens de le dire, vers le col de la Leisse, l'autre monte sans discontinuité au col du Palet, c'est-à-dire que *cette nouvelle bifurcation embrasse tout le massif de la Vanoise*.

Ce dernier résultat n'est pas tout à fait d'accord avec la description de M. Termier qui signale au col du Palet des marbres phylliteux, et sur le chemin de la descente au lac, d'autres marbres phylliteux et un lambeau de quartzites (p. 108). M. Termier en conclut que les gypses et les cargneules du Palet appartiennent au Muschelkalk

inférieur, tandis que j'en fais du Trias supérieur. C'est évidemment un point à revoir; mais, même s'il y a là des accidents secondaires, la continuité avec une coupe très nette (celle de la Thouvière) qui ne m'a paru susceptible que d'une seule interprétation, me semble toujours devoir emporter la balance. Il ne faut pas oublier que les gypses, comme l'a montré M. Termier, pour la dent de Villard et comme je l'ai vérifié en beaucoup d'autres points, sont susceptibles de s'étendre à l'étage moyen des calcaires francs, et que par conséquent un pointement local de calcaires phylliteux, ou même de quartzites, n'exclut pas dans la bande la présence du Trias supérieur. J'ajouterai que, bien que les quartzites se trouvent aussi mentionnés sur mes premières notes, je n'ai pu cette année les retrouver, et je suppose que je les aurai confondus, dans un passage un peu rapide, avec des roches quarziteuses verdâtres bien différentes, qui sont intercalées dans les gypses.

La conclusion à laquelle j'arrive et qui me paraît inévitable pour *quiconque vient de l'est*, ne serait pas tout à fait inconciliable, mais pourtant s'accorderait mal, avec les plis multiples que suppose M. Termier sur les flancs de la grande et de la petite Balme. Il m'a semblé, et je crois que M. Termier, après une nouvelle course partage cette opinion, que ces plis ne sont pas nécessaires; ils étaient introduits pour expliquer l'intercalation de calcaires compacts dans les marbres phylliteux; mais ces calcaires ne sont pas identiques aux calcaires francs typiques du Muschelkalk supérieur, et je les crois, là, contemporains des marbres phylliteux.

Cette petite discussion me permet de maintenir le résultat énoncé plus haut : le massif de la Vanoise se dresse tout d'un coup au milieu d'un synclinal de Trias supérieur, sous la forme d'un dôme simple et ellipsoïdal, qui, plus loin au sud, se creuse rapidement d'une série de plis importants. Mais ces plis, pas plus qu'au sud, où nous les avons vus se terminer près de Modane, n'ont de continuation au nord, du côté de Val d'Isère. C'est une *lentille de plissements* qui vient s'interposer dans le réseau des lignes directrices, momentanément écartées pour lui faire place.

ÉLARGISSEMENT VERS LE NORD DE LA ZONE DE L'ÉVENTAIL CENTRAL.

Il résulte des descriptions précédentes que, sauf les deux exceptions possibles à discuter ou à revoir, d'Entre-deux-Eaux et de Suse, et sauf quelques froissements secondaires, tous les plis à l'est d'une

zone qui comprend en Maurienne la bande houillère et en Tarentaise les massifs de l'Aiguille du Midi, du Mont Pourri et de la Grande-Sassière, *sont uniformément couchés vers l'Italie*. Il faut voir maintenant si ces massifs situés plus à l'ouest, ou plus au nord-ouest, obéissent encore en tout ou en partie, à la même loi.

Les conclusions auxquelles cette étude m'a conduit peuvent se résumer ainsi : le massif de la Grande-Sassière occupe une position spéciale, analogue à celle du Mont Jovet, et qui sera examinée dans la discussion de l'âge des schistes lustrés. Les massifs de l'Aiguille du Midi et du Mont Pourri, forment comme la Vanoise, une grande lentille interposée dans le réseau des plis. La position en est plus difficile à reconnaître, parce que dans cette partie où *les plis sont sinueux* (v. plus haut, ou voir le schéma, pl. VI), cette lentille en embrasse les sinuosités et dessine ainsi un vaste croissant ouvert vers la haute vallée de l'Isère et vers l'Italie. Dès qu'on a pu suivre la continuité d'une partie des plis, cette disposition s'accuse avec évidence, et dans ce premier cadre, on voit se grouper simplement toutes les observations de détail.

Dans ce massif, *les plis ne sont pas couchés dans un sens uniforme*, la plupart, il est vrai, le sont vers l'Italie comme ceux que je viens de décrire ; mais un certain nombre le sont en sens inverse, ou du moins pour quelques-uns, *l'inclinaison change de sens le long d'un même pli*. C'est ce dernier point que j'ai été le plus long à reconnaître ; mais il me semble maintenant hors de doute.

Massifs de l'Aiguille du Midi et du Mt Pourri.— Ces massifs figurent jusqu'ici sur toute les cartes comme composés de schistes cristallins. Ils sont pourtant presque partout formés de Permien et de Houiller très francs (schistes luisants, gris, verts et rouges et grès micacés), alternant, il est vrai, avec quelques micaschistes (quartzites phylliteux), et prenant seulement un faciès plus métamorphique à l'est, dans la région que traverse la route de Bourg St-Maurice à Tignes ; or là, précisément ces couches métamorphiques sont intercalées entre le Houiller avec anthracite et le Trias normal. D'ailleurs, tous ces schistes sont la continuation ininterrompue de ceux de la vallée de Champagny dont les coupes de M. Termier ont définitivement démontré l'âge permo-houiller. Il est bon de remarquer que ces deux massifs surgissent dans un synclinal *plus occidental* que celui de la Vanoise, et que par conséquent il est conforme à la règle énoncée d'y trouver le métamorphisme moins accentué que dans ce dernier massif.

L'Aiguille du Midi ne peut d'ailleurs se séparer que théoriquement de la Vanoise ; à l'est les deux massifs sont séparés par l'ensemble

des synclinaux du col du Palet et du col de Plan-Séry; mais ces synclinaux vont se perdre dans la masse des assises métamorphiques, et malgré la réapparition des calcaires sous le glacier du Cul de Nant et sous la pointe 2523 du Becqui-Rouge, il est difficile d'en préciser plus loin la trace. Je suppose que tandis que celui du Palet irait, comme l'a indiqué sous réserves M. Termier, rejoindre le pointement de la Becca Motte, et de là les gypses du Planay (1), le synclinal nord irait rejoindre, au-dessus de Champagny-le-Bois, la bande triasique du col de Frette, pour se diriger de là, vers le gypse de l'église de Champagny. On arrive ainsi, mais cette fois, il est vrai, avec une part sérieuse d'hypothèse, à retrouver là, la reproduction de la structure indiquée pour la Vanoise, la bifurcation de synclinaux (2) qui se rejoignent de nouveau après avoir embrassé un massif anticlinal limité. Ici l'interprétation peut se contester, parce qu'une des branches du synclinal a été sur un parcours de 5 kilomètres vidée de son remplissage triasique; mais elle devient très probable, parce qu'au nord l'observation permet de constater directement ce mode de division (ou de convergence) des mêmes synclinaux: les deux premiers, celui du col de la grande Forclaz et celui du col de Frette, vont se réunir à Rosset au-dessus de Peisey, et le troisième, celui du Plan Sery, ne va les rejoindre que dans le ravin de la Sachette, au nord-ouest de Tignes. C'est ce que montre le schéma (pl. VI).

Mon but n'est pas de décrire ici complètement ces deux grands massifs; je ne suis d'ailleurs pas encore arrivé à y coordonner les zones ou les lentilles micaschisteuses, et je n'en ai pas visité les hauts sommets, dont il faut malheureusement d'ailleurs attendre peu de résultats, à cause du manque d'horizons précis ou bien connus, dans la masse des schistes permo-houillers métamorphiques (3). Mais les flancs des montagnes, que j'ai parcourus ou traversés en plusieurs points jusqu'aux cotes 2800 et 3000, suffisent à bien fixer

(1) V. la description de M. Termier. Il y a évidemment ici un peu d'indécision; je suis porté à prolonger le synclinal de Becca-Motte un peu plus au nord que ne le fait M. Termier.

(2) Cette bifurcation près de Champagny a été déjà très nettement indiquée par M. Termier (p. 103).

(3) M. Pierre Lory, qui a fait cette année l'ascension du Pourri par la crête de la Sache (grande Parei) m'a écrit à ce sujet: « La constitution des arêtes est en somme très monotone; car, malgré la variété d'aspect des couches, il est visible que, à l'exception peut-être d'une ou deux bandes (schistes houillers? et quartzites triasiques?) on a constamment affaire à un même ensemble dans lequel alternent simplement divers types de roches métamorphiques. »

l'allure des plis. C'est naturellement au contact du Trias (toujours concordant) qu'il faut chercher les renseignements les plus précis ; ils peuvent se résumer ainsi : en partant du point où s'ouvre la lentille au sud-ouest, dans la vallée du Doron de Champagny, tous les plis sont couchés vers l'Italie, sans renversements importants ; à l'endroit où la direction des plis commence à tourner vers l'est, en approchant du sommet du croissant, l'inclinaison change de sens et le Permien, près des anciennes mines, se couche sur le Trias de Peisey ; au sommet même du croissant (Grand Col du Pourri, près des Aiguilles Rouges), l'inclinaison reprend son sens normal. Mais dans la vallée de l'Isère, on retrouve de nouveau des renversements vers le nord-est, c'est-à-dire vers le côté français ; enfin, à partir des Brévières, en aval de Tignes, en même temps que la lentille se rétrécit et se referme, les plis se relèvent et ceux du pied de la Grande-Sassière se couchent définitivement vers le sud et vers le sud-ouest, c'est-à-dire vers le côté italien.

Le schéma (pl. VI) rend compte de ces variations ; il montre également que les plis du bord intérieur, au sud du Mont Pourri (col de la Sache), se couchent aussi momentanément vers la France.

Cette variabilité qui se manifeste à la fois dans la direction et dans l'inclinaison des plis crée, pour l'étude de la région, une très grande difficulté. Je ne suis pas arrivé sur place, pendant mes tournées, à trouver une loi qui relie ces différents changements ou qui les mette en rapport avec la direction des plis. Cette loi pourtant me semble aujourd'hui se dégager de la comparaison des coupes ; avant de l'avoir vérifiée par une nouvelle étude sur le terrain, je ne puis la donner qu'à titre d'hypothèse ; elle se résumerait ainsi :

Les plis en forme de croissant de la lentille anticlinale de l'Aiguille du Midi et du Mont Pourri sont couchés vers l'intérieur du croissant (côté italien), *sauf dans la partie qui avoisine le centre du croissant* ; mais là même le changement de sens de la poussée ne s'est fait sentir que dans la profondeur, et près des sommets, les parties des plis non dénudées se montrent encore couchées vers l'Italie.

Pour préciser l'idée qui résulte de ces indications sur la structure du M^t Pourri, je donne deux coupes (avec pointillés hypothétiques), l'une N.-S., suivant l'arête même du M^t Pourri, faite d'après mes propres observations et d'après les notes que M. P. Lory m'a transmises sur son ascension ; la seconde de l'est à l'ouest. L'une et l'autre rencontrent les mêmes plis, et les rencontrent même *deux fois*, par suite de leur direction sinueuse ; ces deux coupes (fig. 13

et 14), montrent, si on les rapproche du schéma des plis, comment je comprends le raccordement des différentes parties, et comment le sens du renversement peut dépendre là du degré de dénudation.

Fig. 13. — Coupe du Mont Pourri du nord au sud, suivant l'arête ($\frac{1}{80000}$)

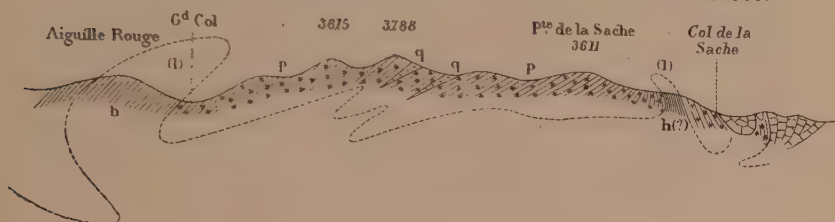
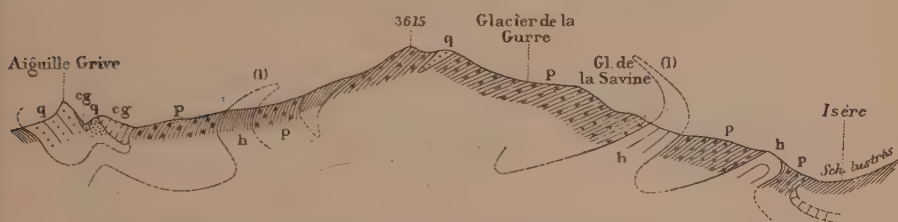


Fig. 14. — Coupe du Mont Pourri de l'est à l'ouest ($\frac{1}{80000}$)



h, Houiller ; p, Permien et Permo-Houiller métamorphique ; q, quartzite ;
cg, cargneules.

Le pli marqué (1) n'est dans ces deux coupes qu'un même pli sinueux, rencontré deux fois par la seconde ligne de coupe.

Les plis de la vallée de l'Isère, sur le versant est du M^t Pourri, sont très nombreux et très difficiles à suivre, à cause de l'incertitude des horizons du Permo-Houiller et à cause de la disparition momentanée du Trias, entre le Bioley et les Brévières. Je crois pourtant pouvoir maintenant affirmer que le large golfe de quartzites qui s'avance au sud vers les Granges-Martin correspond à la petite lèche de calcaires qui vient se coincer dans le talus de la route de Tignes au-dessous du Franier, et que c'est là l'aboutissement du synclinal qui entoure le M^t Pourri. Un peu au nord, dans le vallon de la Sachette, l'énorme massif du M^t Pourri se termine en pointe dans les cargneules de la rive droite (continuation de celles de l'Aiguille percée). La lentille ouverte dans la vallée du Doron de Champagny vient se refermer là, de la même manière que la lentille ouverte à Modane autour du massif de la Vanoise vient se refermer

au lac de Tignes, et il est assez remarquable que dans les deux cas cette convergence des deux branches du synclinal soit marquée par un développement exceptionnel des cargneules. L'existence d'un *noyau anticlinal amygdaloïde* était peut-être ici plus difficile à démêler qu'à la Vanoise, à cause de la plus grande sinuosité des plis et du manque de continuité dans les bandes périphériques de cargneules; mais, une fois les contours tracés, elle apparaît avec une égale certitude, et il est également certain qu'aucun des plis du massif ne se continue en dehors de ses limites. Une fois d'ailleurs, le noyau fermé, le pli qui l'enveloppait et ceux qui l'accompagnent vers l'est, recommencent à se coucher régulièrement du côté du sud et du sud-est, c'est-à-dire du côté du versant italien.

BANDE HOUILLÈRE

La bande suivante, ou bande houillère, a une structure plus uniforme, présentant partout le type de l'éventail bien accusé; mais elle mérite une attention particulière parce que ce pli en éventail, à partir de Brides-les-Bains, *s'ouvre autour d'une amygdale synclinale, qui forme le M^t Joret*, et plus loin, à partir de Sainte-Foy, s'ouvre de la même manière, autour d'une seconde amande analogue, *qui forme la Grande-Sassière*; cette structure, ainsi que la comparaison de ces deux amandes semblables et semblablement placées, sont d'une importance capitale pour la question de l'âge des schistes lustrés.

Je dirai immédiatement que, comme nous l'avons vu sur le côté oriental, il existe à l'ouest de cette bande, une petite zone dans laquelle, au moins de Moutiers à Aime, il y a encore indécision dans le sens du renversement. L'étude n'en est pas tout à fait terminée; je me contente donc de signaler ce pli anticlinal, qui, partant du pied du Niélard, fait surgir le Houiller près de Villarly et de Fontaine, puis, rejeté par une faille transversale jusqu'à Villard-Lurin, se continue par Montfort, Notre-Dame-du-Pré et les Esserts jusqu'à Granier au-dessus d'Aime. Le fait, que sur le flanc oriental de ce pli il semble y avoir quelques renversements vers l'est, c'est-à-dire en sens inverse de ceux qui leur succèdent dans les plis voisins, n'empêche pas la généralité de la règle connue depuis longtemps, et admise au début de cette étude, à savoir que

les plis à l'ouest de la bande houillère se déversent vers la France (1).

J'ajouterai aussi que les plis serrés d'Hautecour, au nord de Moutiers, n'ont à mes yeux aucune continuation au sud, et qu'ils forment une *amande isolée* au milieu d'un synclinal liasique. Ce n'est pas le lieu d'en développer les preuves; mais je tiens à attirer, par ce nouveau trait, l'attention sur la généralité de ce phénomène *amygdalaire*, qui joue un rôle essentiel dans la structure de cette partie des Alpes (2).

Je reviens à la bande houillère, qui, depuis Modane, avec une épaisseur à peu près uniforme, se dirige du sud au nord vers Bozel et vers Brides. En face de cette bande, le Houiller forme jusqu'à une hauteur variable le côté droit de la vallée, mais ne monte pas sur les sommets. A l'ouest seulement, et à l'est, il fait effort pour s'avancer vers le nord; d'un côté, il trouve passage au-dessus d'Hauteville et de Notre-Dame des Prés, où il forme une bande très étroite, mais continue; sous le mont des Arrhets, il n'y a plus qu'un peu de Permien (quartzites phylliteux), entre deux masses de gypse; mais la bande, sans jamais disparaître, s'élargit au-dessus de Mongesin et va sans doute rejoindre (3) celle dont j'ai parlé tout à l'heure, et dont j'ai indiqué le trajet de Villard Lurin à Longefoy; les deux réunies formeraient alors la grande bande d'Aime et de Bourg-Saint-Maurice.

Du côté de l'est, le Houiller s'avance en plusieurs indentations (vallée de Bozel, chemin de la Forclaz, grand ravin du Cray au nord de Champagny, indiqué par M. Termier, p. 103). Il ne s'avance plus loin que sous forme de Permien, à l'ouest du chemin du col de la Frette jusqu'au Rosset, à la hauteur des mines de Peisey, et surtout à l'est de ce même chemin, en se confondant alors avec l'anticlinal déjà décrit du bord du massif de l'Aiguille du Midi et du M^t Pourri. Toutes ces indentations indiquent une série d'anticlinaux, tous couchés vers l'est, mais ne se prolongeant pas très loin, ou au moins difficiles à suivre au-delà de la disparition du Houiller.

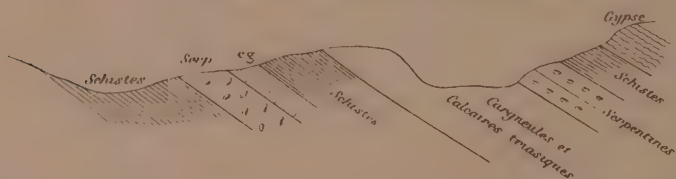
(1) Pas plus que les exceptions *locales* du bord oriental du M^t Blanc et de la chaîne de Belledonne, exceptions qui déterminent la structure en éventail d'une partie de ces massifs, et auxquelles je crois qu'on a attaché une trop grande importance.

(2) A ce point de vue, l'exemple le plus typique à citer serait celui du M^t Blanc, qui, malgré sa masse énorme, se dresse, sans qu'aucun pli le prolonge plus au sud, au milieu d'un synclinal liasique au nord des Mottets.

(3) Il reste là encore une petite partie inexplorée, et je ne puis indiquer cette jonction que comme probable.

Entre cette série d'anticlinaux et la bande houillère de l'ouest, se dresse le Mt Jovet. M. Zaccagna, qui dit lui-même n'avoir pu consacrer avec M. Mattiolo qu'un temps très limité à l'étude de cette région, beaucoup plus compliquée en réalité qu'elle ne le semble, a attribué le Mt Jovet aux schistes lustrés paléozoïques qui perceraient en grand îlot discordant au milieu du Trias. Cette attribution ne peut s'expliquer que par la rapidité forcée de la visite de nos confrères italiens, et peut-être un peu, par l'idée préconçue que les roches vertes (*pietre verde*) dont un affleurement intéressant est connu depuis longtemps autour du Mt Jovet, appartiennent nécessairement à la série paléozoïque. En réalité, il suffit de parcourir les pentes du Mt Jovet pour se convaincre, *sans ambiguïté possible*, que le Trias qui entoure la montagne passe bien partout au-dessous des schistes du sommet, au lieu de buter contre eux, comme le suppose M. Zaccagna. C'est d'abord, je l'avoue, surtout une impression d'ensemble, car le contact avec des gypses et des cargneules peut rarement se trouver découvert; j'ai pourtant réussi à trouver au pied du Roc des Verdons, un point où les schistes, précisément dans la partie où ils sont le plus cristallins, alternent avec les cargneules et les calcaires triasiques (fig. 15). Quant aux roches vertes (serpentes et euphotides) je ne les ai vues nulle part inter-

Fig. 15. — Coupe de détail à l'est du Mont Jovet (Roc des Verdons).



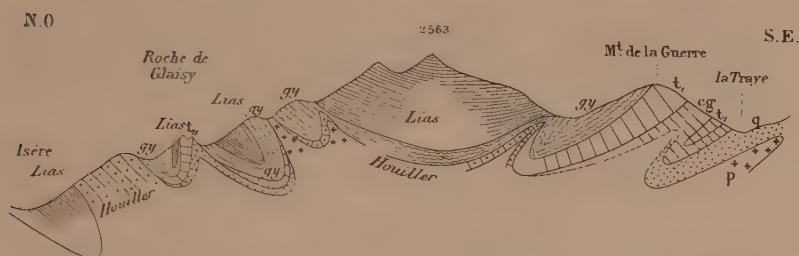
calées dans les schistes, mais seulement dans les calcaires phylliteux du Trias.

D'ailleurs, en dehors de ces raisons, les schistes du Mt Jovet, assez fortement métamorphiques à l'est, présentent du côté de l'ouest un aspect lithologique facilement reconnaissable; cet aspect est celui du Lias à Bélemnites du Niéard et des environs de Moutiers; c'est ce que M. Potier m'avait déjà dit il y a longtemps, et cette année, en visitant ce versant avec M. Kilian, l'assimilation nous a paru tout à fait certaine; auprès du nouveau chalet du Club alpin, on a exploité de grandes dalles calcaires identiques à celles du Col du Golet, qui sont remplies de Bélemnites. Nous n'avons pas, il est

vrai, trouvé de Bélemnites; mais j'ai trouvé à la base, près des châlets de Combelouve, la brèche du Télégraphe qui est un horizon précieux dans toute la région, et dont M. Kilian a péremptoirement démontré l'âge liasique (Lias inférieur). J'ajouterai, en dernier lieu, que les entonnoirs qui abondent sur la crête de Combelouve suffiraient à démontrer l'existence d'un substratum gypseux.

Le Lias du Mt Jovet forme une masse à peu près circulaire, de 5 kilomètres de diamètre, autour de laquelle s'écartent et s'in-

Fig. 16. — Coupe d'ensemble du Mont Jovet, de l'est à l'ouest ($\frac{1}{100000}$).



p, Permien ; q, quartzites ; cg, cargneules (Musch. inf^r) ; t, calcaires compacts (Musch. sup^r) ; gy, gypses (Trias sup^r).

curvent les différents plis. La coupe (fig. 16), prise de l'est à l'ouest à travers le massif, montre ces plis déjetés, d'un côté vers l'ouest et de l'autre vers l'est. Le Lias du Mt Jovet est un chapeau placé sur le sommet de l'éventail. Les assises sont presque horizontales, mais froissées et plissotées à l'infini; le métamorphisme, assez marqué dans les assises inférieures (qui pourraient peut-être encore être rapportées au Trias), monte à l'est assez haut dans la série, mais est presque nul dans les sommets de l'ouest et du sud-ouest; c'est là, comme je l'ai dit, le Lias typique des coupes voisines. Ce froissement extrême des assises horizontales du sommet de l'éventail est assez difficile à expliquer, et devra certainement entrer en ligne de compte si jamais on peut tenter une théorie rationnelle de la structure en éventail.

Si l'on prend la coupe du Mt Jovet du nord au sud, entre Aime sur l'Isère, et Brives sur le Doron, on trouve une coupe à peu près semblable à la précédente : le Houiller dans les deux vallées, séparé par une série triasique, plus ou moins complète et plus ou moins développée, du Lias du sommet; mais on rencontre là une nouvelle difficulté, qui fait prévoir que la coupe est pro-

blement plus compliquée qu'elle ne semble : au-dessus des gypses et des cargneules de Paa Jourdan, à l'est du grand ravin, on trouve, vers la base des schistes, des calcaires phylliteux, tout pénétrés de serpentine qui s'y intercale en minces filets parallèles à la stratification. En suivant cette bande étroite du côté de l'ouest, on ne trouve plus que de la serpentine, avec quelques blocs d'euphotide (non vus en place); cette serpentine forme une série de collines jusqu'au mont des Arrhets, et se trouve alors, sans association de marbres phylliteux, interposée entre les gypses et le Lias. Les gypses, par continuité avec les coupes de Moutiers, semblent bien appartenir au Trias supérieur; les calcaires phylliteux, au contraire, sont toujours dans la région à la base du Trias moyen. Il y a donc là indication d'un *pli écrasé*, comme le montre la figure 17; c'est ainsi que j'avais noté la coupe avec M. Kilian. Cette indication

Fig. 17. — Coupe de la pente nord du Mont Jovet.

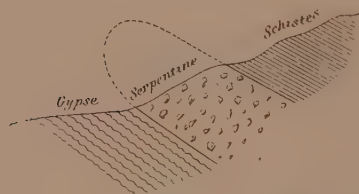
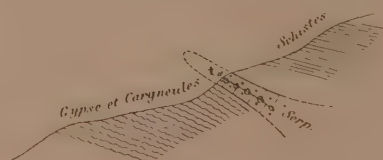


Fig. 18. — Coupe de la pente ouest du Mont Jovet.



En t₁₁, calcaires phylliteux injectés de serpentine.

demande à être vérifiée par de nouvelles recherches; si elle est exacte, la disparition des calcaires phylliteux à l'ouest, porte à conclure que les serpentines en occupent la place, et que leur affleurement marque la continuation du même pli anticlinal (fig. 18).

Sur le versant sud, les serpentines font défaut; mais comme là, on trouve encore (au Grand Rey et sur la pente sud du sommet 2419) de nombreux blocs de roches vertes (schistes chloriteux très quartzeux), je considère comme très probable que ce pli entoure complètement le Mt Jovet. Le Mt Jovet serait un *noyau synclinal ouvert* entre les deux branches étirées d'un même pli anticlinal; ce serait la contre-partie du phénomène signalé à la Vanoise et au Mont Pourri. Ici la conclusion reste, jusqu'à nouvel ordre, hypothétique; mais nous la retrouverons avec plus de certitude à la Grande Sassière. Ce phénomène d'écrasement des plis *autour des noyaux*, ou plus généralement dans toutes les parties très sinueuses

(donnant lieu à des demi-noyaux), est celui que j'aurai à invoquer pour expliquer ultérieurement les coupes qui avaient d'abord entraîné ma conviction au sujet de l'âge paléozoïque des schistes lustrés.

Il est remarquable que le synclinal élargi du M^t Jovet soit, sur presque tout son pourtour, entouré d'une ceinture de roches vertes (serpentine et euphotide), qui rappelle sur une moindre échelle la ceinture semblable du Grand-Paradis, et que nous retrouverons, également avec un développement limité, autour de la Grande-Sassière. Le Grand-Paradis, comme je l'ai dit, est très probablement un massif anticlinal ouvert en forme de noyau, au milieu d'un synclinal; la Grande-Sassière, comme nous le verrons tout à l'heure, est une amande synclinale ouverte au milieu d'un anticlinal. La forme très analogue du M^t Jovet, et cette coïncidence curieuse, quoique tout à fait inexplicquée, d'une ceinture de roches vertes, créent à mes yeux de nouvelles présomptions en faveur de la structure indiquée plus haut; j'espère, dans les courses de cette année, pouvoir élucider la question.

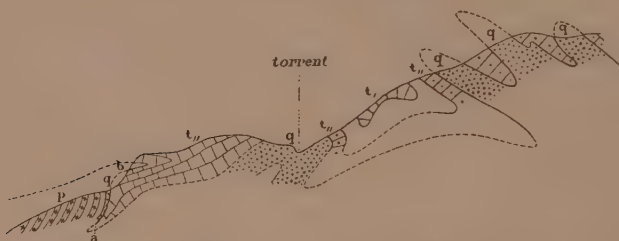
Le synclinal élargi du M^t Jovet se continue en se rétrécissant progressivement jusqu'au-dessus de Peisey, où il est rejoint par le synclinal déjà mentionné du col de Frette; il se dirige de là vers les mines de Peisey, où, comme je l'ai expliqué, il est surplombé par le Permo-Houiller de l'Aiguille du Midi; il continue au nord du M^t Pourri (1), jalonné jusqu'au dessus de Villaroger par l'affleurement continu du Trias (gypses, cargneules et quartzites très développés). Là, la vallée de l'Isère a entamé les roches profondément au-dessous du fond de la cuvette triasique; mais le Trias reparait juste en face, à l'ouest de la pointe de la Fogelitta. L'aspect en est un peu modifié: au-dessus des quartzites, dont l'épaisseur est très inégale, sans nul doute à cause des étirements, on trouve soit les calcaires ordinaires, soit des schistes noirs, alternant avec des dalles de marbre chloriteux. Plus haut des lentilles de calcaires francs sont transformés, notamment au petit col qui est au S.-O. de la Foglietta, et plus loin près du passage du Rocher Blanc, en marbres blancs, à grandes lamelles de mica blanc, ressemblant à des cipolins. Au-dessus de cette série un petit piton isolé, au nord-ouest des châtelets du Plan, est formé de *véritables schistes lustrés*.

Les contournements sont tout à fait extraordinaires dans la crête

(1) Le synclinal est dans cette partie, et probablement d'une manière continue, à partir de la réunion avec le synclinal du col de Frette, formé de deux synclinaux séparés par un anticlinal secondaire.

qui surmonte le hameau de l'Echaillon ; ils arrivent à créer une véritable alternance, on pourrait presque dire un magma de quartzites et de calcaires, qui semble d'abord impossible à expliquer sans une réelle interstratification. La coupe suivante (fig. 19) néces-

Fig. 19. — Coupe des rochers près de la cascade du ravin du Plan.



p, Permo-houiller ; q, quartzites ; t''', calc. phylliteux ; t,, cal. compacts.

sairement un peu schématisée à cause de la difficulté de se maintenir perpendiculairement aux plis, en donnera une idée ; on voit qu'on est là, dans la zone où il y a indécision et alternance dans le sens du renversement.

C'est d'ailleurs ce qui ressort également de l'étude des schistes cristallins permo-houillers qui s'étendent du Plan jusqu'au Col du Mont. On y rencontre d'abord, au-dessus du Plan, un synclinal secondaire de Trias, couché vers le nord, qui va passer au Col du Lac Noir (1). Plus loin au nord, sous la pointe de la Foglietta et sous le glacier de l'Argentièr, on trouve des schistes noirs certainement houillers, avec un poudingue métamorphique semblable à celui de Modane. Au col du Mont, les assises métamorphiques, probablement permienues, plongent des deux côtés sous du Houiller franc. La coupe (pl. V, fig. 4) fait comprendre cette allure des couches le long de la frontière, entre le Col du Mont et le Col du Rocher Blanc. Il est vraiment étonnant que sur toutes les cartes antérieures, on ait introduit là une pointe de schistes cristallins, dans la partie où le faciès houiller est le plus nettement conservé, et qu'on ait au con-

(1) Je n'ai exploré du versant italien que le chemin même qui descend dans le Val Grisanche, et de là à Arvier, dans la vallée d'Aoste ; mais une carte de M. Baret, pleine de renseignements et de détails précieux, semblerait montrer que ce synclinal secondaire se contourne vers le nord, et qu'il laisse ainsi se développer entre lui et le synclinal du Plan, une voûte anticlinale formée de Permo-houiller très métamorphique, et occupant avec le Val Grisanche tout le massif de l'Invergnan.

traire, malgré l'in vraisemblance des contours, figuré une sorte de golfe houiller à la place où les assises permienues métamorphiques ont précisément un aspect plus gneissique. En réalité, le Permo-Houiller continue à suivre sans interruption notre synclinal triasique et, sauf les petites intercalations amenées par les synclinaux intermédiaires, il s'étend à l'est jusqu'au Val de Rhème.

Au Plan, la bande triasique de la coupe (fig. 19) se bifurque et entoure la Grande-Sassière. L'anticlinal médian de cette bande reste marqué jusqu'au-dessus du Val Grisanche par une série de pointements de quartzites. Du côté de l'Isère, il est aussi jalonné par une série de pointements de schistes houillers et de Permo-Houiller métamorphique.

Les deux premiers sont au milieu des cargneules qui descendent du Fenil sur Chatelard; on les retrouve sur la route de Tignes (fig. 20), d'où les mêmes assises continuent au pied du Mt Pourri, traversent de nouveau la route au-dessous de Brévières, et

Fig. 20. — Coupe le long de la route de Tignes, en aval des Brévières.



h, Houiller; p, Permien ou Permo-Houiller; q, quartzites; t., calcaire.

vont plus loin disparaître sous les quartzites triasiques du pied de la Grande-Sassière. La bande triasique est ainsi séparée en deux moitiés, dont l'une (dénudation du fond du synclinal) se perd un instant, après avoir traversé la route, et reparait en face des Granges-Martin (golfe des quartzites, dans le Permo-Houiller du Mt Pourri); la seconde, qui contient les serpentines et les euphotides du Chatelard, longe le pied des schistes lustrés, qu'on voit nettement dans ce parcours, malgré un léger pendage des couches vers la vallée, reposer sur le Trias. Les schistes lustrés superposés forment les pentes et les sommets de Pierre-Pointe (1) et de la Grande-Sassière.

(1) C'est sans doute par suite d'une inadvertance, que M. Zaccagna marque sur sa carte Pierre-Pointe en schistes cristallins; toute l'arête est formée des schistes lustrés calcarifères, et ne différant de ceux de la Grande-Sassière que parce qu'ils sont en bancs plus gros et plus résistants. J'avais eu d'abord à distance la même impression que M. Zaccagna; mais quand on gravit l'arête, toute hésitation est impossible. Je saisis l'occasion de dire que je n'ai pas mentionné les nombreux points où mes contours, en dehors même des questions d'attribution, ne sont pas d'accord avec ceux de M. Zaccagna; M. Zaccagna dit lui-même dans sa note que ses excursions ont été trop rapides pour que sa carte prétende à autre chose, qu'à donner une idée d'ensemble de la structure.

Plus loin, de la Pigette à Orsière, le calcaire triasique disparaît par étiement; mais il reparait au pied de la Grande-Sassière, continuant à séparer l'anticlinal précédemment décrit de la masse des schistes. Partout, où les éboulis n'interrompent pas les observations, on peut constater la même superposition des schistes sur les calcaires, avec passage des uns aux autres par l'intermédiaire de calcaires phylliteux. Cette même superposition se retrouve sur le versant italien, tout le long de la descente sur le Val Grisanche. M. P. Lory l'a constatée également le long de l'arête de la Traversière. Sur tout ce long pourtour, qui embrasse un cercle presque complet, il n'y a d'exception que pendant 2 kilomètres environ, entre le Chatelard et les Brévières; ce point mérite une explication plus détaillée.

La bande triasique que je viens d'indiquer, entre le Plan et le Chatelard, disparaît au-dessous de ce hameau. Les schistes lustrés qui les surmontaient descendent jusqu'à la route, où ils reposent (un peu avant le ravin du Nant creux), sur le Permo-Houiller par l'intermédiaire de schistes verts serpentineux (coupe 20); ces derniers sont incontestablement le prolongement de la serpentine du Chatelard. Les schistes lustrés traversent l'Isère, et dans le ravin de la Savine, on les voit supporter en parfaite concordance les schistes métamorphiques du Mt Pourri; il en est de même sur la route de Tignes, un peu avant le pont des Brévières; là encore, les schistes lustrés passent en concordance sous le Permien, qui, en arrivant aux Brévières, surplombe en sens inverse des schistes et calcaires triasiques avec une mince intercalation (1^m) de quartzites écrasés et étirés. La petite bande permo-houillère qui traverse ainsi la route, est la continuation du pli anticlinal qui entoure la Grande-Sassière. La superposition du Permien aux schistes lustrés est donc due à un renversement local, ou plutôt à un renversement dont la dénudation a fait disparaître la trace dans les parties voisines. Si l'on suit la bande permo-houillère sur la rive droite de l'Isère, on voit rapidement le contact du Permo-Houiller et du Trias se relever jusqu'à la verticale, puis s'incliner en sens inverse vers la Sassière. A partir d'Orsière des bancs de calcaires phylliteux s'intercalent entre les deux formations. Ce pli, comme le pli contigu déjà décrit qui entoure le massif du Mt Pourri, se couche donc alternativement dans un sens et dans l'autre.

On trouve une confirmation de cette conclusion dans la comparaison de la coupe avec celle du rocher calcaire de la montée du Plan (v. plus haut, fig. 19). Une partie de cette dernière,

située à gauche de la coupe, est une coupe de détail, relevée et inscrite sur mes carnets, alors que je n'avais aucune idée sur la structure d'ensemble du massif; elle ne peut donc être accusée d'avoir été influencée par un point de vue théorique. Or, on voit, là, le Permien (en *a*) collé verticalement, par l'intermédiaire de minces bancs de quartzites écrasés, contre la muraille des calcaires également verticaux; à quelques mètres plus haut (en *b*) on voit les quartzites phylliteux lancer une pointe, complètement isolée, dans les calcaires, indiquant que le haut de l'anticlinal permien se renverse vers l'est. Il est clair de plus qu'à une profondeur plus ou moins grande, mais certainement peu considérable, le Permien, comme le montrent les pointillés, doit recommencer à plonger vers l'est sous le Trias. Il n'y a plus qu'à admettre la possibilité, démontrée par mille exemples dans nos Alpes, de la disparition locale du calcaire par étirement, ou encore, comme j'en donnerai plus loin des preuves manifestes, d'un passage latéral des calcaires aux schistes, pour que cette coupe reproduise, suivant le degré de dénudation, toutes les particularités observées plus au sud. Si la dénudation s'est arrêtée en *bb* (fig. 21), on a la coupe du ravin de la Savine; si elle est descendue jusque en *cc*, on a la coupe du Chatelard et d'Orsière. Et

Fig. 21. — Agrandissement de l'extrémité gauche de la coupe 18, montrant les relations des coupes de la vallée de l'Isère, à la Savine et au Chatelard.



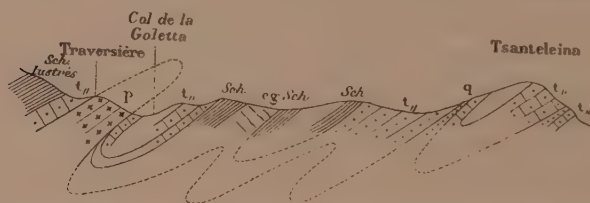
la remarque a d'autant plus d'importance, qu'il s'agit précisément du même pli : dans la coupe 18, tous les plis couchés vers le sud-ouest, de la crête d'Echaillon vont se diriger vers le passage du Rocher-Blanc, et c'est le pli inférieur, couché en sens inverse, qui seul se dirige vers le Chatelard et vers le sud de la Grande-Sassière.

Je crois utile de résumer par une coupe, prise du sud-ouest au nord-est (pl. V. fig. 4), l'ensemble de cette discussion. Elle prouve définitivement que le massif de la Grande-Sassière est une grande

amygdale synclinale, autour de laquelle les autres plis s'infléchissent; que ce massif est, comme le Mt Jovet, posé sur le sommet de l'éventail, et que les schistes qui le composent, comme ceux du Mt Jovet, reposent de tous les côtés sur le Trias.

Les observations de M. Pierre Lory et la carte de M. Zaccagna me permettent dès maintenant de compléter ces observations personnelles, en indiquant l'extension du massif sur le versant italien. M. Lory, comme je l'ai dit, a trouvé le Permo-Houiller (schistes cristallins de M. Zaccagna) à la pointe de Traversière et sur l'arête qui la prolonge vers le nord; les schistes cristallins forment là un anticlinal couché sur le Trias qui prolonge la bande de Val d'Isère (la coupe schématique ci-jointe, fig. 22, résumerait les observations de

Fig. 22. — Coupe de la Traversière à la Tsanteleina. $\left(\frac{1}{80000}\right)$



p, Permo-houiller; q, quartzites; t., calc. phylliteux; cg, cargneules.

M. Lory) (1); cet anticlinal est la continuation de celui qui s'ouvre au Plan autour du massif, et que j'ai déjà décrit jusqu'au-dessus de Tignes (la partie intermédiaire est cachée par les éboulis). Il se poursuit sur le bord du Val de Rhème. Les schistes lustrés superposés au sud se prolongent, d'après la carte de M. Zaccagna, sur le flanc ouest de l'Invergnan, et, d'après une carte plus ancienne de M. Baretti, iraient se terminer, auprès de Rhème Saint-Georges, avant la vallée d'Aoste; on aurait là, la fermeture de l'amande synclinale, qui, dans son ensemble, dessine un grand croissant dont la concavité est en sens inverse de celle de l'amande anticlinale du Mt Pourri et de l'Aiguille du Midi. Les schistes lustrés d'Aoste, sur la rive gauche de la Doire (v. Gerlach), en marqueraient probablement la direction prolongée. Le résultat est important; car il montrerait que *tout le massif du Mt Rose fait partie de la zone centrale de l'éventail alpin.*

(1) Une conséquence peut-être intéressante de cette étude, est que tous les cols de la frontière dans la partie étudiée, depuis le col du Mont jusqu'au col de Rhème, correspondent à des synclinaux, et que, réciproquement dans cette partie, tous les synclinaux dont la continuité a été reconnue, donnent naissance à un col.

On voit maintenant, comment cette étude de la structure peut jeter un jour sur la question de l'âge des schistes lustrés. Dans presque toute la zone d'extension de ces schistes, les superpositions ne prouvent rien, parce que la structure est monoclinale ; même dans les points assez rares où l'on connaît, par les quartzites, la base du Trias, l'ordre de succession des assises peut induire en erreur, par suite des étirements toujours possibles. Mais dans la zone centrale de l'éventail, en dépit des renversements locaux, l'ordre d'ensemble des superpositions se reconnaît et s'impose avec évidence, et aucun transport horizontal ne peut être invoqué, puisque les plis divergent à partir de cette zone. En raison de la situation spéciale de la Grande-Sassière, toutes les causes d'erreur et d'incertitude sont éliminées. C'est là qu'est véritablement la solution.

En résumé, la structure en éventail de la bande houillère, telle que Alph. Favre l'a bien vue dans la vallée de l'Arc, se poursuit jusque dans la haute Tarentaise et jusque au-delà de la frontière. Elle diffère des éventails décrits dans les Alpes, tels que le M^t Blanc et le Saint-Gothard, par ce fait que le changement de sens dans le déversement des plis n'est pas accidentel, ou plutôt passager, et borné à quelques plis, mais qu'il est définitif, et que, une fois la zone passée (on peut ajouter, si l'on veut : après un court intervalle d'incertitude et d'hésitation), il se retrouve dans tout le versant opposé de la chaîne. C'est donc bien, au moins pour cette partie des Alpes, la zone axiale des plissements ; ce n'est pas un axe de symétrie, parce que le versant est, dont précisément on n'avait pas jusqu'ici signalé les plissements, est bien plus *couché* que le versant ouest, qu'il ne reproduit pas symétriquement les mêmes formations et qu'il montre tous les terrains beaucoup plus métamorphisés, mais c'est évidemment un axe principal de démarcation.

Si cet axe principal de démarcation ne se trouvait dessiné qu'en Maurienne et en Tarentaise, il serait difficile de lui attribuer une grande importance théorique. Or, ainsi que je l'ai dit au début, c'est ce qui aurait semblé évident d'après les anciennes cartes, qui ne font continuer le terrain houiller que par la bande étroite du Petit et du Grand Saint-Bernard ; cette bande, comme cela ressort si nettement des coupes de Gerlach, ne joue plus le même rôle ; un grand nombre de plis, et des plus importants, à l'est des affleurements houillers, sont encore couchés vers l'ouest. Mais l'étude des environs de Sainte-Foy et du col du Mont indique comment cette première vue doit être modifiée : on n'a compté comme Houiller que le *Houiller non métamorphique*, c'est-à-dire que la partie tout à

fait occidentale de la bande élargie : il faudrait y joindre tous les *Casanna Schiefer* de Gerlach, et de plus une autre branche, amorcée déjà, jusqu'au Mt Ormelune sur les anciennes cartes de Lory, va, sous la même forme métamorphique, entourer la Dent-Blanche et le Mt Rose, qui sont bien *les vrais massifs centraux* de la chaîne, les anticlinaux des terrains les plus anciens dressés au milieu de l'éventail houiller. Le point important qui ressort alors des coupes de Gerlach, et que permettent déjà de prévoir les coupes de la frontière autour du col du Mont, c'est que les plis, dans cette zone axiale élargie, sont indifféremment couchés vers le nord-ouest ou vers le sud-est, qu'il n'y a pas de sens déterminé pour leur inclinaison.

Un autre fait intéressant est mis en évidence par l'étude de cette zone, c'est l'existence de massifs horizontaux de couches plus récentes, restés en place sur le sommet de l'éventail. La régularité et l'absence de dérangement important dans la stratification de ces massifs de couronnement, semble bien, sauf nouvel examen, un *fait réel* pour les massifs du sud, le Mt Thabor et la Croix de Verdon. Mais pour le Jovet et la Grande-Sassière, ce n'est qu'une apparence, et tout montre que ces massifs ont été soumis à des actions particulièrement énergiques ; c'est d'abord l'existence de l'anticlinal étiré qui les entoure, et dont l'existence, probable seulement au Jovet, est bien démontrée pour la Grande-Sassière ; c'est surtout l'extraordinaire froissement et le plissement horizontal des schistes du Jovet. Je ne suis pas en état de tirer les conséquences de cette allure si spéciale, mais il est évident qu'elle restreint le choix des explications possibles pour la formation de la structure en éventail.

SCHÉMA DES LIGNES DIRECTRICES DES PLISSEMENTS (Pl. VI).

Les renseignements, un peu sommaires, que je viens de donner sur cette partie encore peu étudiée des Alpes françaises ont besoin d'être complétés par le tracé des lignes de plissement successives. Il reste quelques points, comme je l'ai expliqué, où les raccordements des plis présentent encore des incertitudes, mais le nombre en est petit, et leur étude plus complète ne pourra guère modifier l'ensemble. J'ai admis dans ce tracé que les schistes lustrés sont triasiques, mais le dessin général, étant au fond surtout accusé, par les bandes calcaires qui s'y intercalent ou qui leur font bordure,

conserverait toujours à peu près la même forme, si l'on n'admettait pas cette solution.

Un premier fait dans ce tracé attire l'attention, c'est, au milieu de la direction générale nord-est, sud-ouest et nord-sud, qui s'accuse parallèlement à celle de la chaîne, la grande sinuosité des tracés dans le détail. Sans même parler des inflexions autour des massifs amygdaloïdes, on peut remarquer la série de rebroussements visibles entre Moutiers et Brides, ceux du vallon de la Rocheure et de la haute vallée de l'Arc (1), les sinuosités multiples et emboîtées les unes dans les autres, auprès de Val d'Isère et de Thermignon. C'est presque un phénomène général. On voit aussi très nettement la liaison intime du réseau des vallées avec le système des plis ; mais, contrairement à ce qu'on pourrait croire, contrairement aussi à ce qu'on observe dans les régions de plissements réguliers, comme ceux du Jura, les vallées suivent rarement les synclinaux ; elles sont pour la plupart *perpendiculaires aux plis*. Le fait est surtout frappant dans le cas de sinuosités ou de rebroussements des plis ; presque toujours une vallée importante suit l'axe des sinuosités ou l'arête des rebroussements ; ainsi le Doron de Bozel et de Pralognan, entre ces deux localités d'abord, puis auprès de Moutiers : le torrent de Peisey, entre sa source et Peisey ; l'Isère, entre sa source et Tignes ; le vallon de la Rocheure ; l'Arc entre Bonneval et Thermignon, et à Modane même. Il est même à prévoir qu'une étude plus complète multipliera ces exemples. J'ai déjà eu l'occasion, dans mon étude sur le Môle (2), de signaler ce phénomène et d'en chercher l'explication ; je l'attribue à l'existence de plis transversaux, qui, malgré leur moindre importance, ont, à cause de la *structure isoclinale*, joué le rôle principal dans la détermination de l'écoulement des eaux. L'existence de ces plis transversaux n'est d'ailleurs pas une hypothèse ; elle est très clairement marquée en beaucoup de points (vallée de Bramans, massif de la Sana) par l'abaissement aligné du fond des synclinaux ou par la surélévation des têtes d'anticlinaux.

Mais le trait saillant du schéma, qui est en même temps le trait déterminant de l'allure des couches dans la zone frontière, ce sont

(1) Ces rebroussements et ces sinuosités sont, il est vrai, en partie explicables par l'*inclinaison des plis*, qui fait que le relief du sol amène une déformation apparente des lignes directrices ; c'est ce qui indique, dans la pl. VI, la ligne de pointillés au-dessus de Bonneval). Dans la plupart des points signalés, on peut se convaincre que les sinuosités sont *réelles* ; mais dans d'autres, il est difficile de faire la part de cette cause d'incertitude.

(2) *Bull. des Services de la carte géol. de la France*, t. IV, n° 32, Déc. 1892.

les énormes sinuosités des plis emboîtés autour du petit M^t Cenis et du Grand-Paradis. J'ai dit sur quels arguments je fondais cette interprétation; ils me semblent tout à fait incontestables pour le pli qui entoure le petit M^t Cenis; quant au pli qui entoure le Grand-Paradis, le tracé résulte surtout de l'interprétation de la carte de M. Zaccagna; ce n'est sans doute qu'une approximation, mais l'allure générale est presque imposée par les considérations de continuité.

Là, la sinuosité prend une telle ampleur qu'il ne s'agit plus d'une irrégularité locale, mais, on peut presque dire, d'un fait d'ordre général, d'un fait qui au moins doit être en rapport avec quelque particularité importante de l'histoire de la chaîne. Sans doute, je n'ai pas la prétention que les données, encore insuffisantes, exposées ici avec les réserves nécessaires, permettent dès maintenant de résoudre la question; mais, si l'on examine une carte géologique des Alpes, même à petite échelle, même en tenant compte du caractère provisoire d'une partie des contours, il est difficile de ne pas être frappé d'une singulière coïncidence: cette sinuosité des plis se retrouve sur l'autre versant, bien connue depuis longtemps et bien marquée par l'allure générale des affleurements; et, quoiqu'on n'ait jamais présenté les choses sous cette forme, il me semble évident que l'axe de ces sinuosités (ou de ces rebroussements locaux) correspond à la vallée de la Durance; c'est là en tout cas qu'a lieu le maximum de pénétration des zones préalpines vers la zone centrale du Briançonnais. Or, la vallée de la Durance, prolongée à partir de Guillestre (où elle se détourne en amont suivant une direction parallèle aux plis), mène tout droit au centre éruptif du M^t Genève, à la vallée de Cézanne et d'Oulx, où l'on rejoint l'axe des sinuosités de l'autre versant. Il y a là comme un *serrement* des Alpes, entre ces deux arêtes de rebroussement qui se font face sur les deux versants, et ce *serrement* est lié à un autre phénomène géologique d'une non moindre importance; sauf la zone des chaînes subalpines, toutes les zones du versant français s'abaissent et plongent brusquement en profondeur avant d'arriver à cette arête; Belledonne et le Pelvoux, le Lias de l'Oisans et celui de la Maurienne, la zone houillère elle-même, s'arrêtent brusquement, d'après les cartes actuelles, noyés dans le large épanouissement de la bande nummulitique. Seule, la traînée des calcaires du Briançonnais continue son parcours sans interruption apparente. La ligne de serrement est l'axe d'un grand abaissement transversal de la chaîne, ou au moins d'une partie de la chaîne.

Si maintenant on réfléchit à la forme *actuelle* de la chaîne, on voit qu'elle se divise naturellement en deux parties, l'une qui, de la Suisse au sud du Dauphiné, dessine une grande courbe régulière convexe vers le nord, et l'autre, qui, précisément à partir de la zone transversale d'affaissement, s'infléchit presque à angle droit vers le sud-est, et forme un trait d'union soit avec les Apennins, soit avec la Provence. L'arête de rebroussement, ou axe de serrement, serait précisément *parallèle aux lignes directrices de la première partie de la chaîne*. Si l'on rapproche le fait des caractères sédimentaires (épaisseur et faciès) des étages paléozoïques, on voit que la ligne de serrement est précisément celle qui réunirait les formations coralliennes du Dévonien inférieur de la Carinthie et de celui de la Montagne-Noire; que c'est aussi la seule ligne suivant laquelle on puisse chercher la prolongation des grandes accumulations de terrain houiller, brusquement interrompues le long de l'axe de la chaîne. La conclusion alors me semble s'imposer : dans les temps paléozoïques, alors que s'ébauchaient déjà, comme l'ont montré Lory et M. Frech, les premières lignes du système alpin, les plis en formation et par conséquent les zones de sédimentation ne suivaient les lignes actuelles que jusque vers le sud du Dauphiné, et de là, se continuaient sans déviation vers le bord des Cévennes et de la Montagne-Noire; la vallée du Pô, continuée par l'Adriatique, la vallée de la Durance et la dépression du canal du Midi formaient dans ce système un grand synclinal continu. Plus tard est venue la grande rupture d'équilibre de la fin des temps primaires; elle a eu pour résultat de *déformer le réseau*, qui, au lieu de s'accentuer, conformément à la loi ordinaire, toujours suivant les mêmes lignes, sans autre modification qu'une subdivision de plus en plus grande des synclinaux et des anticlinaux, a pris un dessin plus complexe, formé de portions des lignes primitives, raccordées par des traits perpendiculaires; c'est alors, comme le montre l'étude des faciès triasiques, qu'une même zone de sédimentation (correspondant à un même grand synclinal) s'est étendue sur le flanc intérieur des Alpes et sur celui des Apennins; cette ligne directrice est celle qu'a indiquée M. Suess. Mais plus tard encore, pendant la période crétacée, une nouvelle déformation a eu lieu, et est surtout manifeste dans les chaînons extérieurs du versant français; les plis déviés vers les Apennins se sont raccordés, non plus avec cette chaîne, mais avec son ancienne prolongation occidentale, la Provence et les Pyrénées. C'est à cette double déviation qu'il faut attribuer l'extrême complication, les sinuosités multiples et les

discontinuités apparentes des plis des Alpes Maritimes et de la Provence. Ce n'est pas le lieu de développer davantage ces considérations; je tiens seulement à indiquer que j'étais arrivé à ces conclusions d'une manière tout à fait indépendante de l'étude des plis de la Maurienne et de la Tarentaise, et que l'interprétation à laquelle j'ai été conduit pour ces plis me semble de nature à leur prêter un nouvel appui.

CONCLUSIONS ET RÉSULTATS GÉNÉRAUX

Avant d'aborder la discussion détaillée de l'âge des schistes lustrés, pour laquelle les données stratigraphiques précédentes fournissent tous les éléments nécessaires, il me reste à résumer les conclusions de cette étude et les résultats qui me semblent s'en dégager pour l'ensemble de la structure des Alpes.

Structure en éventail. — Le premier est la structure en éventail de la chaîne considérée dans son ensemble. J'ai dit les raisons pour lesquelles ce résultat, qui me semble définitivement acquis dans les Alpes françaises, avait échappé jusqu'ici. L'attention s'était portée surtout sur les massifs qui font surgir les roches cristallines, dits *massifs centraux*; dans plusieurs de ces massifs, comme le Saint-Gothard, le Mont Blanc et Belledonne, on avait signalé la structure en éventail, sans remarquer assez qu'elle est *accidentelle*, c'est-à-dire que, si l'on peut donner une coupe de ces massifs qui mette cette structure en évidence, on en pourrait donner d'autres parallèles où elle fait défaut. En tout cas il était clair qu'aucun de ces massifs ne marque la place d'un changement permanent dans le sens de l'inclinaison des plis; la structure en éventail n'était donc qu'un accident local. Pour d'autres massifs, comme ceux du M^t Rose et du Simplon, on avait remarqué que cette structure n'existe pas (1), on les a considérés ordinairement comme formant au contraire de grandes voûtes surbaissées; mais aucune de ces voûtes non plus ne formait limite entre des faisceaux de plis déversés en sens contraire. Dans les Alpes autrichiennes, M. von Hauer a bien indiqué la structure en éventail du massif central; mais pour la zone sédimentaire du Tyrol, l'inclinaison des plis vers le sud (quoique dénotée maintenant par des exemples de plus en plus nombreux) ne semblait pas se produire symétriquement de l'inclinaison vers le nord de l'autre

(1) HEIM, Mechanismus der Gebildebildung.

versant, ou du moins ne semblait pas y avoir la même généralité. Je crois, pour ma part, qu'il y a là une question de dénudation plus profonde du versant sud, mais en tout cas, il était difficile de trouver un argument de fait dans la structure en plateaux du Tyrol (1). En France seulement, la structure en éventail, indiquée par l'avre pour la zone houillère, aurait pu se constater depuis longtemps, si la grande épaisseur uniforme des schistes lustrés, et le métamorphisme général des assises, n'avaient empêché de reconnaître clairement l'existence de plis sur le versant italien. Une fois ce premier point mis en lumière, il reste encore quelques difficultés, tant que l'âge des schistes lustrés reste indécis ; il n'en reste plus, s'ils sont triasiques, et c'est sans hésitation, que l'on peut établir les règles suivantes :

La zone des terrains houillers de Bourg Saint-Maurice à Briançon, est le centre de l'éventail et comprend la ligne axiale des plissements alpins. Sur ses bords, il y a de part et d'autre, comme une zone frontière où le sens du renversement est indécis ; une fois cette frontière passée, tous les plis se couchent uniformément *vers l'extérieur*, à l'ouest vers la France, à l'est vers l'Italie ; quand ces plis sont sinueux, le renversement de chaque pli a lieu sur le synclinal qui lui fait suite du côté extérieur. Les exceptions à cette règle sont peu nombreuses et uniquement locales ; elles se produisent surtout sur le bord des massifs amygdaloïdes dont je reparlerai tout à l'heure.

Vers le nord-est, en arrivant à la frontière, la zone médiane ou zone du centre de l'éventail s'élargit considérablement, et *embrasse tout le massif du Mt Rose*. Dans cette zone élargie, il n'y a pas de sens déterminé pour l'inclinaison des plis. Il convient d'ajouter que, dans l'état de nos connaissances, il est difficile de suivre, plus à l'est, la continuation des plis intérieurs, déversés vers l'Italie. Un déversement analogue ne se retrouve nettement qu'à partir du Tyrol, vers le sud d'abord, puis vers l'ouest, sur le versant adriatique.

Au sud de Briançon, la structure en éventail subsiste, mais la zone médiane subit un changement extraordinaire ; au lieu d'être occupée par les terrains les plus anciens dressés en anticlinal, elle est occupée par les terrains les plus récents, par les couches du Nummulitique et du Flysch. La zone centrale est marquée, au moins géologiquement parlant, non plus par une saillie mais par un

(1) De plus, la ligne qui va de l'Engadine à Bellinzona et à Biella semble séparer les zones centrales des Alpes en deux parties, dont le raccordement est encore bien hypothétique.

creux. Les études de M. Kilian nous apprendront comment se fait le passage entre ces deux manières d'être si différentes; peut-être les accidents si spéciaux, dont une note préliminaire de MM. Kilian et Haug a annoncé l'existence dans l'Ubaye, pourront-ils être mis en rapport avec l'énorme et brusque abaissement de la zone centrale de l'éventail. Mais en tout cas, la bande éocène, au point de vue de l'inclinaison des plis, joue bien le même rôle que la bande houillère; tous les plis à l'ouest se couchent vers la France; tous ceux de l'est se couchent vers l'Italie. Plus loin seulement, le massif du Mercantour, surgissant à l'intérieur de la bande éocène, marque son retour momentané à la forme nettement anticlinale. Il est seulement à remarquer que le dessin des plis, ainsi déterminé, cesse d'être en rapport avec l'extension et avec les zones d'égal développement des terrains paléozoïques.

Structure amygdaloïde. — Tandis que la bande houillère, ou du moins son bord occidental prolongé jusqu'au Valais, forme une courbe à peu près régulière et parallèle à la direction de la chaîne, les plis intérieurs sont remarquables par leurs sinuosités. Les sinuosités sont dues en partie à la brusque interposition de lentilles allongées dans le sens de la direction, qui écartent les plis tout autour d'elles, pour se faire place. Ce sont tantôt des amandes synclinales, tantôt, et plus souvent, des noyaux anticlinaux, présentant ce curieux caractère que les plis qui les accidentent, quoique intimement reliés par leur direction au réseau général, ne se prolongent pas au-delà de la lentille; ils convergent et s'abaissent vers les deux extrémités. Le réseau, en d'autres termes, présente ainsi une série de nœuds et de ventres; si l'on comparait le réseau aux feuillettes d'un gneiss, il faudrait rapprocher cette structure de celle d'un gneiss amygdaloïde (*Augen-gneiss*), dans lequel les feuillettes s'infléchissent tout autour des gros noyaux de quartz et de feldspath. C'est pour cela que j'ai proposé le nom de *structure amygdaloïde*.

Pour donner une idée de l'importance de ces lentilles, je citerai d'abord l'exemple du M^t Blanc, qui n'est tout entier qu'un immense noyau surgissant au milieu d'un synclinal liasique, qui se referme autour de lui. Dans la région que j'ai plus particulièrement étudiée, la Vanoise, le M^t Pourri avec l'Aiguille du Midi doivent leur existence à un phénomène semblable. Le massif du Petit M^t Genis n'est enveloppé par une ceinture de plis écrasés que sur une moitié de son pourtour. Je ne puis encore dire s'il en est de même du Grand-Paradis, ou si, comme je le crois plus probable, c'est encore là un nouveau noyau amygdaloïde, plus vaste que tous les autres;

En ce qui regarde le phénomène inverse, c'est-à-dire les massifs ou noyaux synclinaux, entourés par les deux branches d'un même pli anticlinal, je ne puis citer que la Grande-Sassière et le M^t Jovet (ce dernier encore avec doute). Il est remarquable que ces deux exemples isolés se trouvent tous les deux sur le sommet de l'éventail alpin.

Je ne crois pas qu'on ait, au moins sur une grande échelle, rien signalé encore de semblable à cette *structure amygdaloïde*, si ce n'est peut-être la région cristalline du Lac des Bois en Amérique. M. Lawson tire de cette structure un de ses arguments pour conclure que les noyaux, formés de gneiss granitoïde, ont une origine éruptive. Sans contester pour cela les conclusions de M. Lawson, on peut inférer de la structure de nos Alpes que cet argument, s'il était seul, serait sans valeur. De nombreux indices me font d'ailleurs maintenant soupçonner que cette structure n'est pas spéciale aux Alpes, et qu'on la retrouve en beaucoup d'autres points, notamment dans l'Ardenne (massif de Spa), et même dans les ondulations tertiaires (Boulonnais et Pays de Bray).

Métamorphisme. — Enfin une dernière conclusion est la reproduction de celle que M. Termier a déjà tirée de l'étude de la Vanoise, et qu'il a énoncée sous forme de loi générale : *à l'est de la bande houillère, le métamorphisme va en croissant de l'ouest vers l'est*. Je suis arrivé, comme M. Termier l'a fait pour la Vanoise, à rattacher avec certitude au Permo-Houiller les anciens gneiss chloriteux et micaschistes du M^t Pourri, du Petit M^t Cenis, et ceux du Val Grisanche, continuation des *Casanna schiefer* de Gerlach.

Les arguments, que je n'ai pu développer dans cette note surtout consacrée à l'ensemble de la structure, sont de plusieurs ordres : d'abord l'intercalation en plusieurs points, comme à Modane, des assises métamorphiques entre le Houiller typique et le Trias, avec passages insensibles à l'une et à l'autre de ces deux formations ; puis, quand le métamorphisme, étendu plus uniformément à l'ensemble des couches, ne permet plus de s'appuyer sur la superposition au Houiller, l'identité des caractères pétrographiques, l'existence de poudingues encore reconnaissables, la ressemblance des quartzites phylliteux intercalés avec les quartzites du Trias, la concordance absolue et le passage graduel des uns aux autres. Enfin, comme dernière confirmation, on trouve en plusieurs points des paquets houillers de grès micacés noirâtres non transformés, parfois avec traces d'anhracite. M. Termier le premier en a signalé un au dessus de la vallée du Doron de Champagny ; j'en ai retrouvé

d'autres dans le massif de l'Aiguille du Midi et du Mt Pourri. M. Baretta en avait aussi rencontré en Italie, entre le val Grisanche et le val de Rhême ; il les a décrits, il est vrai, comme des dépôts isolés de lacs houillers, superposés en discordance aux « gneiss récents », ou *Casanna schiefer* ; mais on peut, même avant vérification, affirmer d'après l'ensemble de la géologie du pays, que, là comme partout, toutes les assises sont concordantes, que les lambeaux, reconnus comme houillers sont intercalés, et ne sont que des parties échappées au métamorphisme.

Une partie des mêmes arguments s'appliquent aux gneiss œillés du Grand-Paradis, c'est-à-dire à ceux qu'on a désignés sous le nom de gneiss central. Je suis porté à y voir un dernier terme du même métamorphisme. J'ai insisté sur la concordance parfaite avec le Trias ; mais même, si paradoxale que puisse paraître la chose quand il s'agit de formations si profondément différentes que des gneiss et des calcaires, on peut dire en certains points qu'il y a passage des uns aux autres. Au pied de la Grande Paroi, entre les gneiss et les schistes lustrés, on trouve un banc de quartzites que l'on peut hésiter à associer aux gneiss voisins ou à rapporter au Trias. Les calcaires qui le surmontent peuvent être pris pour des cipolins. J'ai vu de la même manière sur les bords de l'Adula, M. Heim et M. Schmidt hésiter dans l'attribution de certains calcaires aux cipolins ou à la Rôthidolomit.

Il est à remarquer que, dans certains massifs, comme la Dent Blanche ou le Mt Rose, on voit, d'après Gerlach, se dresser en anticlinaux des gneiss plus anciens, qui sont alors percés de nombreux filons granitiques, tandis que ces filons font absolument défaut dans les massifs précédemment cités ; c'est là certainement un nouvel argument. Nulle région en tout cas n'offre un champ plus propice pour continuer les études micrographiques si brillamment commencées par M. Termier dans la Vanoise ; il est à espérer qu'on pourra suivre, dans la formation et dans l'agencement des minéraux, tous les passages jusqu'à ce que l'on est convenu aujourd'hui d'appeler de « vrais gneiss ». Je reconnais que la démonstration n'est pas encore faite, mais à mes yeux les arguments actuels suffisent déjà à rendre la solution très probable : toute cette région des Alpes a été pendant les époques houillère, permienne, triasique et, sans aucun doute, aussi pendant le Jurassique, le siège d'une sédimentation active et continue ; les actions postérieures qui ont ramené au jour ces sédiments anciens, les ont ramenés avec le cachet spécial des profondeurs

auxquelles ils avaient été enfouis et des compressions qu'ils avaient subies.

Si l'on me permet de devancer ici les résultats de ma prochaine note, et de faire entrer en considération l'âge *triasique des schistes lustrés*, on est amené à donner une généralité plus grande et une forme plus frappante à ces vues sur le métamorphisme. Tant que les schistes lustrés étaient considérés par nous au Service de la carte, comme paléozoïques, nous étions frappés de leur ressemblance, malgré leur teneur en calcaire, avec les phyllades et schistes sériciteux, désignés par la lettre x dans le Plateau central (1). Les gneiss du Grand-Paradis, soumis à M. Michel Lévy, qui, d'ailleurs, en dépit de leur large cristallinité, avait insisté sur leur aspect relativement récent, avaient été rapportés provisoirement par lui au ζ^2 , c'est-à-dire à l'étage supérieur des gneiss et micaschistes du Plateau central. Les assimilations dont je cherche ici à me prévaloir n'ont donc pas été faites pour les besoins de la cause, et elles permettent, en employant les notations de la Carte géologique, de résumer ainsi mes conclusions : dans la zone métamorphique des Alpes (qui reste à délimiter exactement) l'*x est du Trias, le ζ^2 est du Permo-Houiller*.

En développant cette conclusion, je n'oublie pas la part d'hypothèse que j'ai mentionnée au début et qui subsiste encore pour les gneiss du Grand-Paradis; je crois que cette part est faible, mais elle existe. Je ne vois pas de raison pour que le dynamométamorphisme, qui fait de *faux gneiss*, ne fasse pas aussi de vrais gneiss, d'autant plus que je n'ai jamais bien compris la valeur théorique des distinctions minéralogiques établies entre les uns et les autres; je ne prétends pourtant exprimer qu'une opinion personnelle, et un peu de sentiment, en proposant d'étendre aux gneiss les conclusions que j'ai développées autrefois pour les roches éruptives : les gneiss des différentes chaînes ne sont pas nécessairement du même âge. Pour les gneiss, comme pour les roches éruptives, les caractères différentiels mis jusque ici en évidence ne sont liés qu'indirectement à l'âge, et n'y sont liés que si l'on reste dans une même chaîne. Pour les gneiss, comme pour les roches éruptives, il n'est pas impossible qu'il existe certains caractères liés à l'âge d'une manière absolue, mais nous ne les connaissons pas encore; et s'ils existent,

(1) M. Bonney (*Quat. Journal*, Fév. 1889, p. 103) a conclu de l'examen microscopique et du mode d'association des minéraux composants, que ces calcschistes, avant les actions dynamiques dont ils portent la trace, étaient de *vrais schistes cristallins*.

ils sont jusqu'ici masqués par les caractères plus apparents, dus aux actions chimiques et au métamorphisme, lesquels sont de toutes les époques.

Les conclusions auxquelles me conduit l'étude des Alpes sont d'ailleurs à rapprocher des conclusions semblables auxquelles, dans ces derniers temps, ont abouti les observations faites dans les différentes chaînes, aussi bien de l'Europe que de l'Amérique. J'ai déjà rappelé que M. Suess, dès 1869, avait assimilé aux *Casanna schiefer*, certains gneiss des Alpes carniques, en les rapportant les uns et les autres au Permien. Dans la chaîne hercynienne (qu'il vaudrait peut-être mieux appeler armoricaine), Lossen a montré que le Dévonien inférieur, dans une zone qui comprend le Taunus et une partie de la Thuringe, prend la forme de micaschistes et de gneiss ; la chaîne armoricaine est assez bien connue jusqu'à la Bohême, pour qu'on puisse reconnaître que cette zone occupe, sur le versant sud de la chaîne, une position comparable à celle de la zone de métamorphisme alpin ; la relation avec une torsion des plis, supposée par Lossen, me semble moins évidente. En Norvège, dans la chaîne calédonienne, également à une assez grande distance du bord septentrional, M. Reusch nous a fait connaître des gneiss siluriens. Aux Etats Unis, sans parler des schistes cristallins de la Sierra Nevada, attribués par M. Becker au Crétacé, on a décrit dans le Sud des Appalaches et dans les Montagnes Vertes des couches cambriennes fossilifères, qui passent latéralement à des gneiss. La localisation de ces actions métamorphiques est très remarquable et tout à fait inexplicable, mais on ne peut guère se refuser à en admettre la réalité.

Je répète d'ailleurs, en terminant, que les doutes qui peuvent subsister sur cette délicate question du métamorphisme et sur les limites assignables à son action, ne peuvent en aucun cas s'étendre aux conclusions relatives à la structure ; celles-ci, aussi bien en ce qui regarde l'existence de l'éventail que celle des noyaux amygdaloïdes, me paraissent désormais acquises, et tout à fait incontestables.

ÉTUDES DANS LES ALPES FRANÇAISES

(SCHISTES LUSTRÉS DE LA ZONE CENTRALE)

par **M. Marcel BERTRAND** (1).

(Pl. VII).

Dans une première note (2), j'ai essayé, avant de discuter de plus près l'âge des schistes lustrés, de donner une idée de la structure d'ensemble de la zone centrale alpine de la Maurienne et de la Tarentaise ; quoiqu'il y ait là un ordre en apparence peu logique, l'âge des terrains étant généralement le point de départ nécessaire de l'interprétation des coupes, j'ai cru que dans le cas actuel il y avait intérêt à le suivre. La structure d'ensemble peut, en effet, être établie dans ses traits généraux, indépendamment de l'âge des schistes lustrés, la coupe d'Entre-deux-Eaux fournissant seulement une exception si les schistes sont antétriasiques. Mais en tout cas, la structure générale des Alpes est une structure en éventail, des deux côtés de la bande houillère ; en tout cas, le système des plis s'ouvre et se referme autour de gros noyaux amygdaloïdes. D'un autre côté, la connaissance préalable de cette structure me paraît indispensable pour donner aux diverses coupes leur signification, pour en expliquer les contradictions apparentes, et pour en tirer les conclusions définitives.

L'échelle stratigraphique qui doit servir de base est celle qu'a établie M. Termier pour la Vanoise ; nous l'avions déjà discutée ensemble dans des courses communes, et toutes mes coupes en dehors de la Vanoise n'ont fait que la confirmer : au-dessus du Permo-Houiller, représenté par des schistes, des quartzites micacés ou des gneiss chloriteux, reposent, par passage insensible, les quartzites du Trias. Les quartzites n'existent pas partout ; quand ils existent, ils ont une épaisseur très variable : mais partout où ils existent ils sont invariablement à la base du Trias (bancs à noyaux

(1) Communication faite dans la séance du 5 Février 1894. Manuscrit remis le 19 Février. Epreuves corrigées par l'auteur parvenues au Secrétariat le 12 Avril 1894.

(2) Même vol., p. 69.

de quartz, anagénites, bésimaudites, grès vosgien? à la base). C'est le meilleur et le plus sûr horizon de la région alpine.

Des quartzites aux calcaires qui les surmontent, le passage est également insensible, et est une nouvelle légitimation de la série établie. On trouve en effet, par places, quelques bancs de quartzites à lentilles calcaires et de calcaires cristallins à noyaux de quartzites, et M. Mattiolo m'a dit qu'il avait pu réunir à Rome deux séries parallèles d'échantillons, les uns calcaires, les autres quartziteux, se ressemblant assez, terme à terme, pour rendre une confusion possible, au moins à un premier examen.

A la base des calcaires, on trouve généralement quelques bancs de calcaire marbre très blanc, facile à confondre de loin, sauf l'absence de lichens bruns qui recouvrent ordinairement la surface des quartzites, avec des bancs de quartzites; puis viennent les calcaires phylliteux, décrits par M. Termier. C'est encore un excellent horizon; M. Kilian croit, qu'au sud, il y a peut-être aussi des calcaires phylliteux au sommet du Trias, mais, dans la région que j'ai étudiée, ils sont toujours à la base. Malheureusement l'horizon n'est pas constant; ils passent à des calcaires compacts avec bandes siliceuses, qui rentrent dans un type analogue, mais aussi à des schistes noirs (avec disparition du calcaire entre les bancs phylliteux) et à des cargneules (produit d'altération). Dans ces cargneules inférieures, on trouve très ordinairement un faciès bréchoïde, avec morceaux de phyllites anguleux, et même aussi avec grains de quartz blanc d'apparence roulée. A ces cargneules sont associés des gypses. C'est là, le grand obstacle à la stratigraphie du Trias. Pour distinguer ces cargneules et ces gypses de ceux du Trias supérieur, on n'a qu'un criterium, qui fait souvent défaut et dont la généralité est insuffisamment établie, celui de l'englobement de fragments de schistes phylliteux.

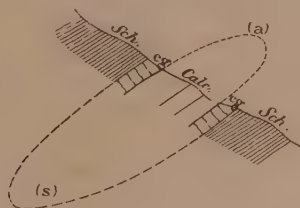
Plus haut, vient la grande masse des calcaires compacts, susceptibles, eux aussi, par altération, de donner des calcaires fragmentés et caverneux faciles à confondre avec des cargneules. Mais de plus, ils peuvent passer latéralement à des grandes masses gypseuses. Le gypse alors, comme l'a déjà dit M. Kilian, englobe des morceaux de calcaires non transformés, et il faut nécessairement admettre une *gypsification* postérieure. Mais cette épigénie n'a lieu nulle part que dans les calcaires triasiques; elle est donc liée en fait à la présence du sulfate de chaux *sédimentaire* dans les assises voisines. J'ai expliqué (note de la page 76, dans mon précédent mémoire) que ce transport et cette reprécipitation de sulfate de chaux, en remplace-

ment du calcaire, peuvent s'expliquer simplement parce que le sulfate de chaux dans les lagunes du Trias s'est déposé, non pas à l'état de gypse, mais à l'état d'anhydrite, susceptible de fournir des *solutions sursaturées*. Il peut résulter de ces transformations que, par places, tout le Trias au-dessus des quartzites soit représenté par du gypse, avec quelques lentilles de calcaires et de cargneules, ainsi que M. Termier en a indiqué des exemples; cette particularité augmente évidemment les difficultés stratigraphiques.

Je n'ai pas trouvé de fossiles dans les calcaires compacts, sauf quelques Encrines et quelques petits Gastropodes qui ne donnent pas d'indication. En quelques points (moraine du glacier de la Dent Parachée, éboulis de Lansleria), j'ai vu des traces de grands Polyptères oblitérés. Mais les Gyroporelles, signalées en plusieurs points par M. Zaccagna, et par M. Diener au Mt Genève, n'ont jusqu'ici pu être retrouvées par aucun des collaborateurs de la Carte.

Le Trias supérieur semble partout à l'état de cargneules et de gypses (ou d'anhydrite); du moins, quand il n'est pas à cet état, on n'a aucun critérium pour le distinguer. Il n'y a pas de Lias prouvé, sauf plus à l'ouest, au Mt Jovet: je conserve encore quelques

Fig. 1. — Explication possible de l'intercalation des calcaires dans les schistes par pli anticlinal (a) ou par pli synclinal (b).



doutes pour la Dent Parachée, pour la grande Casse, et aussi pour une partie des schistes lustrés, dont il va être question.

A cette série, ou à des membres incomplets de cette série, s'accroissent à l'est, avec même pendage, et en *complète concordance*, des schistes lustrés, calcschistes très uniformes, sans points de repère, formant des masses énormes. En général, les faciès triasiques que je viens de décrire n'apparaissent dans la région du développement de ces schistes que sous forme de bandes étroites intercalées, se suivant sur 10 et 20 kilomètres de longueur. Malheureusement dans ces bandes les quartzites n'existent plus qu'exceptionnellement; la base des calcaires, si elle est représentée, l'est presque

partout par des cargneules et il est difficile de savoir si, dans l'hypothèse où les calcaires triasiques *ne sont pas intercalés*, l'on a affaire à des synclinaux ou à des anticlinaux (fig. 1). Un coup d'œil sur la carte ou sur le schéma (pl. VII) montre la distribution des régions où, comme à la Vanoise et aux environs de Val d'Isère, les calcaires et les quartzites se développent largement, sans schistes lustrés, ou avec intercalations peu importantes de schistes dans les calcaires phylliteux. Ces parties élargies, où se développe le faciès briançonnais du Trias, forment une bande qui suit fidèlement le bord est de l'éventail alpin; sur le bord ouest les calcaires existent encore, mais avec un développement très affaibli; et le Trias est composé de quartzites et cargneules (avec gypse). Il y a alors quelques intercalations de schistes luisants, *non calcaires*.

On voit dès lors la difficulté; les contacts du Trias certain et des schistes lustrés ont lieu dans une région de plis monoclinaux; quel que soit l'âge des schistes lustrés, ils se montrent donc alternativement au-dessous et au-dessus du Trias, sans que cela prouve rien. Il faudrait savoir s'ils sont ordinairement en contact avec le Trias supérieur ou le Trias inférieur; or, ils sont ordinairement en contact avec des cargneules, qui peuvent être inférieures ou supérieures. Les cas rares, où il y a des quartzites ne peuvent même non plus rien prouver, à cause des étirements possibles; or, ces étranglements, non pas seulement du flanc d'un pli, *mais de tout un pli*, sont presque la règle autour des massifs amygdaloïdes. La coupe de Petit-Cœur ou les coupes analogues sont des coupes normales autour de ces massifs; et le même phénomène d'étranglement se reproduit sur le bord des parties très sinueuses des plis. C'est ainsi que toutes les fois qu'on a cru trouver une coupe probante dans un sens déterminé (Savoulx, Ubaye), une première révision de la coupe l'a montrée, plutôt favorable à l'interprétation opposée, jusqu'à ce qu'une étude plus complète de l'ensemble ait enfin fait comprendre, qu'aucune coupe isolée ne prouve rien ni ne peut rien prouver.

Il me faut dire un mot d'un argument de M. Zaccagna qui trancherait la question, c'est celui d'une *discordance entre les schistes lustrés et les calcaires triasiques*. Nulle part, je n'ai pu voir cette discordance, et je ne connais pas une seule coupe qui constitue même un indice en sa faveur. Je suis retourné plusieurs fois voir toutes les coupes où M. Zaccagna indique la discordance, je me suis astreint à chercher tous les contacts et à les toucher du doigt. Je puis affirmer que partout, sans exception, la concordance est absolue et complète.

M. Zaccagna croit que, là, où elle existe, elle est mécanique et

résulte des énormes compressions subies; je ne doute pas en effet que localement les plissements ne puissent arriver à masquer des discordances réelles; la chaîne de Belledonne et l'Ardenne fournissent, de ce fait, des exemples bien connus; mais l'étude de ces massifs montre, en même temps, que si la discordance peut, par places, être effacée, elle se retrouve dans l'ensemble des observations. Or ici, la concordance *existe partout*, même avec passages ménagés des deux faciès. J'ajoute que toutes mes recherches, jusqu'au milieu de l'année dernière, ont été faites, avec l'idée très arrêtée que les schistes lustrés étaient paléozoïques, que je n'avais donc aucune prévention contre une discordance qui aurait été toute naturelle, et même presque nécessaire pour expliquer l'absence du Houiller si développé au voisinage. Je crois donc pouvoir être absolument affirmatif sur ce point.

Dans ces conditions, comment résoudre le problème? Gerlach l'a résolu dans les Alpes pennines en s'appuyant sur les lentilles de calcaires triasiques intercalées dans les schistes lustrés. Mais on

Fig. 2. — Coupe schématique des Alpes françaises ($\frac{1}{500.000}$)
(structure en éventail)



Les croix indiquent le Permo-Houiller; les parties laissées en blanc sont du Lias ou du Jurassique inférieur.

peut toujours alléguer que ce sont des synclinaux pincés. M. Heim l'a résolu dans les Grisons en montrant la présence de fossiles liasiques, on peut faire la même objection, et dans les Grisons, d'après ce que j'ai vu avec M. Heim, je suis revenu à peu près persuadé qu'elle était fondée, que le Lias incontestable est là, en synclinaux pincés dans la masse des schistes lustrés (*grave Schiefer*).

Il semble donc que, nulle part, on ne puisse trouver de preuves et qu'on soit condamné à un doute insoluble et inévitable. C'est ce qui aurait lieu, en effet, si les Alpes n'étaient pas construites en éventail, et s'il n'y avait pas, au centre de l'éventail, une zone où les couches sont restées à peu près horizontales, et où les superpositions, au

moins dans l'ensemble, ne peuvent s'expliquer que par une postériorité d'âge (fig. 2). Ce sont ces coupes qui ont entraîné ma conviction, ainsi que celle de M. Termier, à qui je les ai montrées, et c'est alors l'attribution des schistes lustrés au Trias qui, en faisant disparaître les dernières difficultés et les exceptions locales, m'a permis d'énoncer les règles générales par lesquelles j'ai résumé la structure de cette partie des Alpes.

C'est naturellement par ces coupes démonstratives que je vais commencer ; j'étudierai ensuite les autres coupes, en discutant les indices qu'elles peuvent fournir, et je montrerai que non seulement aucune d'elles n'implique de contradiction avec les résultats énoncés, mais que toutes (sauf deux), deviennent plus naturelles et plus faciles à comprendre avec la solution triasique, tandis que la solution paléozoïque en laisserait quelques-uns provisoirement inexplicables.

Massifs superposés au sommet de l'éventail.— Dans la région que j'ai étudiée ou dans celles qui lui sont immédiatement adjacentes, il y a quatre montagnes formées de couches à peu près horizontales posées sur l'éventail houiller : au sud, le Thabor, étudié par M. Kilian, puis la croix de Verdon, au-dessus de la vallée des Alules, le M^t Jovet, au nord-est de Moutiers, et la Grande-Sassière, près de la frontière italienne. Ces quatre montagnes forment des pics culminants et isolés, qui dominent les cimes voisines ; les deux premières sont formées d'assises triasiques indiscutées (quartzites et calcaires) ; les deux autres sont formées de schistes, attribués par Lory et par M. Zaccagna à la formation des schistes lustrés, c'est-à-dire l'une et l'autre à un même niveau, triasique pour Lory et paléozoïque pour M. Zaccagna.

M^t Jovet. — Je résumerai d'abord les conclusions relatives au M^t Jovet. Il a été étudié, il y a deux ans, en détail par M. Potier, qui est arrivé à la conclusion que ces schistes sont du Lias. Il se fondait sur la superposition au Trias supérieur et sur l'analogie avec le Lias à Bélemnites des environs de Moutiers. Mes observations, faites en partie en commun avec M. Kilian, n'ont fait que confirmer cette attribution.

J'ai trouvé la brèche du télégraphe à la base, et près de l'hôtel du Club alpin, les dalles calcaires exploitées sont identiques, sauf les Bélemnites, aux dalles à Bélemnites tronçonnées du col du Golet. A l'est seulement, le faciès change ; les schistes moins calcaires et plus luisants ont un aspect plus cristallin ; au sud du col de Macot,

je les ai trouvés alternant avec des cargneules et des calcaires triasiques; je croirais volontiers que de ce côté au moins la partie inférieure de ces schistes serait triasique. . .

Quoiqu'il en soit de ce dernier point, la coupe est-ouest déjà donnée dans ma précédente note (1) ne prête à aucune difficulté; les plis très serrés du côté de Moutiers, et faisant reparaître avant l'Isère trois synclinaux de Lias, un pointement de Houiller (Hauteville) et un pointement de quartzites sont nettement couchés vers l'ouest, et du côté de Champagny, ils sont couchés vers l'est. Directement au-dessous des schistes, on trouve partout le gypse. Une coupe analogue se reproduit tout autour du massif; au nord seulement, l'intercalation de calcaires phylliteux entre les gypses et les schistes doit faire croire à l'existence d'un anticlinal écrasé, non reconnu encore sur les autres versants; je suis porté par l'exemple analogue de la Grande-Sassière, à croire que cet anticlinal se poursuit tout autour du massif, et que c'est lui qui amène au jour les affleurements de serpentine.

L'âge de la serpentine pourrait sembler tranché par le fait, qu'on ne la trouve injectée que dans les calcaires phylliteux. J'ajoute immédiatement que c'est toujours à ce niveau (ou dans les schistes lustrés) que je l'ai trouvée. Mais en réalité, comme elle n'existe nulle part en galets dans aucune assise de la série, on n'a pas de limite supérieure certaine pour son âge, et la question doit rester en suspens.

On voit qu'il reste des incertitudes au Mt Jovet. Mais ce qui est incontestable, c'est qu'il n'y a pas à songer à voir là un îlot paléozoïque, que c'est bien un paquet de Lias, peut-être avec schistes triasiques à la base, *posé sur le sommet de l'éventail*.

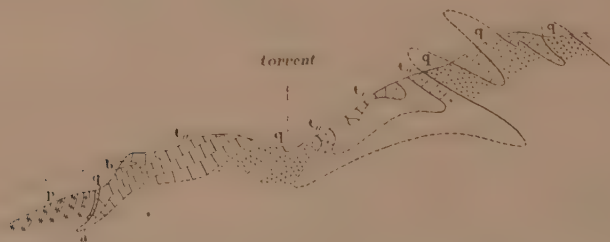
Grande-Sassière. — Passons plus à l'est, à la Grande-Sassière. Les schistes lustrés n'ont plus là aucune ressemblance extérieure avec le Lias; ce sont des calcschistes très luisants, rappelant plutôt certaines intercalations schisteuses dans les calcaires phylliteux. Ils occupent à peu près horizontalement tout l'énorme massif de Pierre-Pointe et de la Grande-Sassière; sur toute leur hauteur, qui est de près de 1000 mètres, ils sont d'une remarquable uniformité. Les calcaires triasiques, avec cargneules et pointements de quartzites, se montrent partout à la base, servant de substratum aux schistes, depuis le passage du Rocher blanc jusqu'à la descente sur les Alpes Vaudet en Italie; et en France, depuis le même col jusqu'à

(1) Même volume, p. 99.

la route de Tignes, c'est-à-dire sur un complet demi-cercle. En ce dernier point, les calcaires cessent un instant, les schistes lustrés, légèrement inclinés vers l'ouest, plongent sous le Permien du Mt Pourri (avec contact visible au ravin de la Gurra). Mais bientôt sur le versant nord, à partir des châlets de Nasonde, le Trias reparait et plonge régulièrement sous les schistes lustrés jusqu'à la frontière italienne, où M. P. Lory a suivi le contact le long de l'arête de Traversière. Le cercle est là presque complètement fermé; il resterait à suivre les contacts en Italie entre le Val Grisanche et le Val de Rhêmes jusqu'à la fin de la lentille de schistes lustrés que M. Zaccagna indique au-dessus de Rhêmes Saint-Georges. Je n'ai traversé le pays qu'une fois, dans des conditions défavorables. Il m'a semblé que les schistes lustrés reposaient là directement sur le Permo-Houiller, avec intercalation de quelques lambeaux de cargneules. La carte de M. Zaccagna montre même une ceinture intermittente de calcaires saccharoïdes (attribués au terrain primitif, mais bien probablement triasiques).

Ainsi la masse de schistes lustrés est sur presque toute son étendue, superposée au calcaire triasique; là, où il en est autrement, elle repose directement sur le Permo-Houiller; il n'y a qu'une exception sur la route de Tignes. J'ai donné la coupe typique du ravin du Plan, que je reproduis ici et qui permet de se rendre compte de cette exception locale (2 kilomètres au plus, sur un pourtour de plus de 20 kilomètres). Cette coupe (fig. 3) montre

Fig. 3. — Coupe des rochers près de la cascade du ravin du Plan.



p, Permo-Houiller; q, quartzites; t_m , calc. phylliteux; t_c , cal. compacts.

un synclinal en éventail, dont le bord renversé occidental est presque complètement dénudé. C'est ce pli qui s'ouvre pour englober tout le massif. Jusqu'au-dessus des Brévières, son flanc extérieur est couché vers le Mt Pourri; mais par suite de la

dénudation jusqu'en a) les schistes lustrés reposent sur les calcaires ; en arrivant à l'Isère, les calcaires s'étirent et le pli moins profondément dénudé laisse voir les schistes lustrés, plongeant sous le Permien. Vers Nasonde, le pli devient vertical, puis se couche en sens inverse, vers le nord, c'est-à-dire vers le côté opposé à la Grande-Sassière. La superposition redevient donc régulière à la base des schistes lustrés.

Ainsi, non seulement l'exception locale s'explique très simplement, par le seul examen d'un pli visible sans ambiguïté dans toutes ses parties le long du grand ravin de Plan ; mais si l'on voulait supposer que c'est dans ce point exceptionnel que la stratification est régulière, que les schistes lustrés sont antérieurs au Permien (et par conséquent au Trias), il ne resterait d'autres alternative que de supposer *toute la masse de la Sassière en recouvrement*, et alors il devient inexplicable, à moins de *plissements postérieurs* que la masse charriée s'enfonce en un point sous les terrains qu'elle a recouverts. Mais il y a une autre et plus grande impossibilité dérivant de la structure en éventail ; tous les plis tournent le dos à ce massif auquel il faudrait les faire aboutir. Je ne connais pas jusqu'ici d'exception sur le versant italien, et les exceptions du versant français (Mt Blanc, Belledonne, etc.), si même on voulait leur accorder une importance plus grande que celle que je leur attribue, n'ont rien à voir dans la question puisqu'il n'y a pas de schistes lustrés de ce côté.

Si maintenant ces preuves, qui me semblent irréfutables, ne paraissaient pas suffisantes, il y en a de plus probantes encore, quand on observe les abords du massif, au nord et au sud, au-dessus du Plan (les Clous) et à Picheri. D'un côté, on voit une colline isolée en forme de piton abrupt, au fond d'un cirque dont les sommets, composés de Permien, de quartzites et de calcaire triasique, le dominant de trois côtés, reposent sur une base de calcaires triasiques ; cette colline est formée de schistes lustrés identiques à ceux de la Sassière qui sont en face, et à la base, il y a alternance de ces schistes et des calcaires phylliteux. Mais à Picheri les choses sont plus nettes encore ; si l'on gravit au sud du Saut, la muraille de quartzites qui domine le hameau, on trouve sur ces quartzites des calcaires triasiques presque horizontaux, puis des schistes lustrés avec intercalation de roches vertes ; plus haut, au-dessus du petit lac, en gravissant le bord de la moraine vers le col qui mène au pied du Dôme, on a, à sa gauche, la grande muraille de Picheri, où l'on voit par des alternances innombrables se faire le passage

des schistes aux calcaires triasiques. Les couches sont peu inclinées et le passage est aussi net, aussi frappant que celui que j'ai montré à la Société géologique dans les falaises de Cassis à la Ciotat, entre les poudingues, les grès et les calcaires à Hippurites du Turonien.

Les roches vertes, dont j'ai cité l'intercalation, seraient au besoin un argument de plus. Ces mêmes roches se retrouvent en face, en lentilles allongées dans les schistes lustrés de la Sassièrre. Ce sont dans les deux cas des agrégats de quartz et de chlorite, mélangés de feldspath. Ce n'est pas une roche éruptive franche, et le nom de schistes chloriteux est celui qui semblerait le mieux lui convenir ; c'est en tout cas, une roche très spéciale, dont la récurrence et la juxtaposition fortuite à deux niveaux d'âge très différent seraient tout à fait invraisemblables.

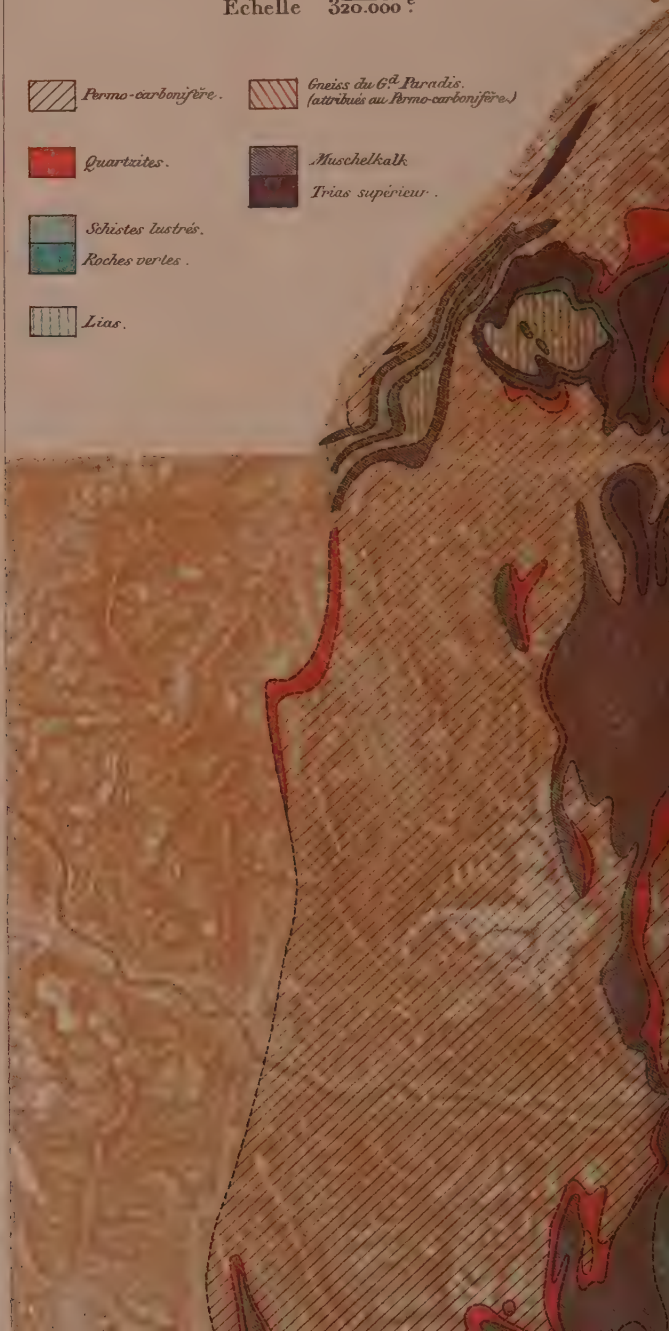
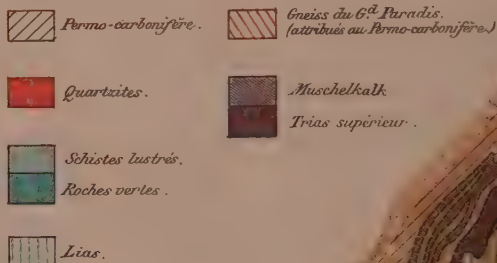
Ainsi les schistes de la Grande-Sassièrre sont incontestablement superposés au Trias, et ils passent latéralement au Trias. Toute tentative d'en faire autre chose que du Trias serait un défi à l'évidence. Ajoutons encore, qu'il s'y intercale au Rocher blanc (29), une grande lentille de calcaires triasiques qui prend au rocher même une épaisseur de plusieurs centaines de mètres, et à peu de distance, au nord comme au sud, finit en coin dans les schistes. Tout au plus, pourrait-on donc supposer, vu la grande épaisseur des schistes, que leur dépôt s'est continué uniformément pendant les époques subséquentes au Trias, et que le sommet représente déjà le Lias. C'est une hypothèse qui n'aurait rien que de raisonnable, mais en faveur de laquelle manque tout indice positif.

Les rapports très nets et très facilement observables de la stratification, autour de la Grande-Sassièrre, permettent de préciser là ce que j'ai indiqué hypothétiquement pour le Mt Jovet : je veux parler d'un anticlinal écrasé entourant le massif. Il y aurait d'ailleurs encore un autre trait de ressemblance remarquable, par suite de la présence de serpentines et d'euphotides dans les calcaires triasiques qui servent de base aux schistes. Ces serpentines et ces euphotides (ces dernières plus rares) se trouvent au col du Rocher blanc, le long de la descente au plateau italien, et en France au Chatelard. Les calcaires où elles sont intercalées me semblent incontestablement être du Trias inférieur, comme les marbres phylliteux du Jovet. Le froissement si particulier des schistes du Jovet ne se produit pas à la Grande-Sassièrre ; par contre le métamorphisme du Trias y est beaucoup plus accusé ; les calcaires triasiques passent par places (au pied du passage du Rocher blanc et près du col de la Foglietta), à des marbres très cristallins, rappe-

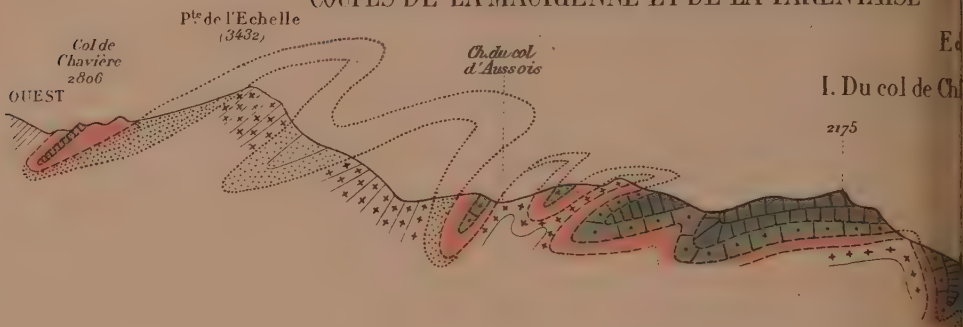
CARTE GÉOLOGIQUE
d'une partie
de la MAURIENNE et de la TARENTAISE
(Zone frontière entre le P.^t St. Bernard
et le tunnel du M.^t Cenis.)

Echelle $\frac{1}{320.000}^e$

Bourgnon

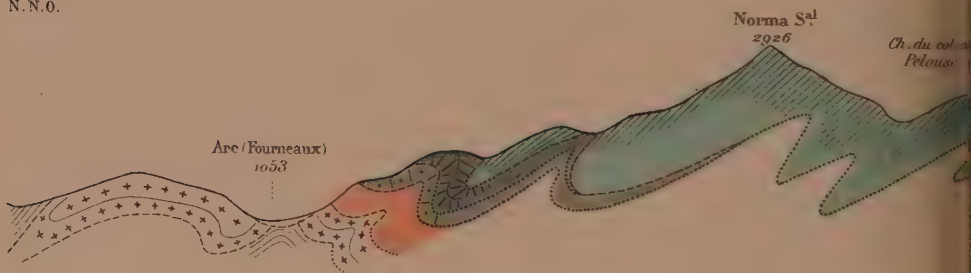


COUPES DE LA MAURIENNE ET DE LA TARENTAISE



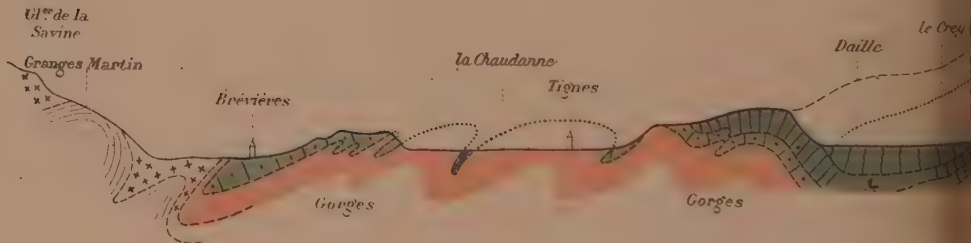
II. Coupe prise parallèlement plus au Sud

N. N. O.



III. Coupe brisée prise le long de l'Isère (avec vue du massif)

N. O.



IV. Coupe du massif de la Grande Tarentaise

N.



Permio-carbonifère



Bancs quartziteux et Anagènites

Bancs cristallins métamorphiques

Schistes et grès



Quartzites

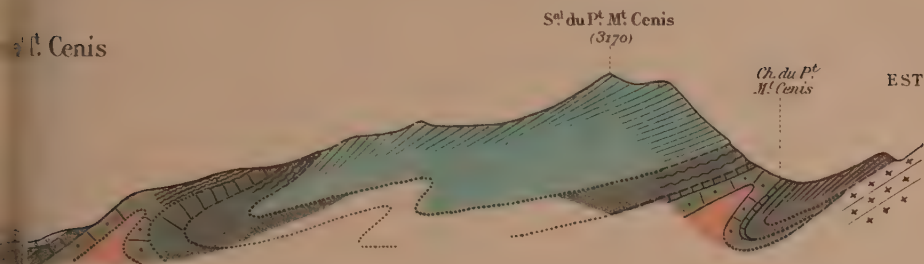


Calc. compacte et calc. Schistes.

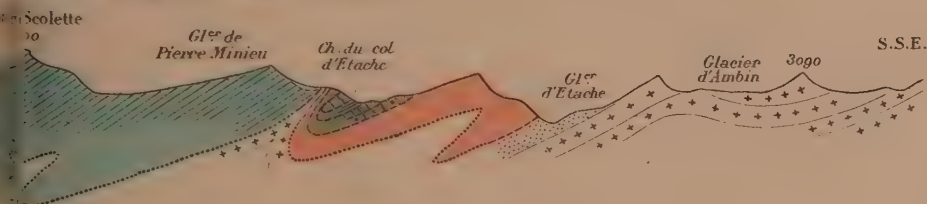


Carriage et gypse

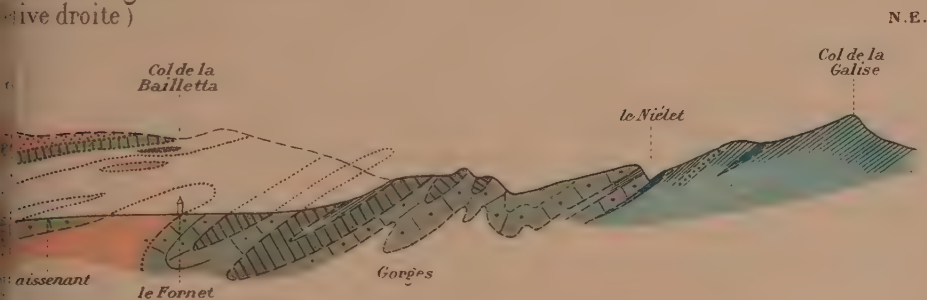
près normalement à la direction des plis).



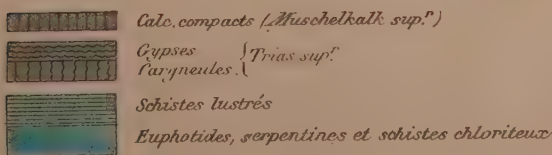
audane) aux glaciers d'Etache et d'Ambin.

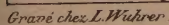


realise aux glaciers du M^t Pourri
(ive droite)



du Mont à Val d'Isère.





TRAIT DU RÈGLEMENT CONSTITUTIF DE LA SOCIÉTÉ

APPROUVÉ PAR ORDONNANCE DU ROI DU 3 AVRIL 1833

ART. III. — Le nombre des membres de la Société est illimité (1). Les Français et Étrangers peuvent également en faire partie. Il n'existe aucune distinction entre membres.

ART. IV. — L'administration de la Société est confiée à un Bureau et à un Conseil, et le Bureau fait essentiellement partie.

ART. V. — Le Bureau est composé d'un président, de quatre vice-présidents, de deux secrétaires, de deux vice-secrétaires, d'un trésorier, d'un archiviste.

ART. VI. — Le président et les vice-présidents sont élus pour une année; les secrétaires et les vice-secrétaires, pour deux années; le trésorier, pour trois années; l'archiviste, pour quatre années.

ART. VII. — Aucun fonctionnaire n'est immédiatement rééligible dans les mêmes fonctions.

ART. VIII. — Le Conseil est formé de douze membres, dont quatre sont remplacés chaque année.

ART. IX. — Les membres du Conseil et ceux du Bureau, sauf le président, sont élus à la majorité absolue. Leurs fonctions sont gratuites.

ART. X. — Le président est choisi, à la pluralité, parmi les quatre vice-présidents de l'année précédente. Tous les membres sont appelés à participer à son élection, directement ou par correspondance.

ART. XI. — La Société tient ses séances habituelles à Paris, de novembre à juillet (2).

ART. XII. — Chaque année, de juillet à novembre, la Société tiendra une ou plusieurs séances extraordinaires sur un des points de la France qui aura été préalablement déterminé. Un Bureau sera spécialement organisé par les membres présents à ces réunions.

ART. XIV. — Un *Bulletin* périodique des travaux de la Société est délivré gratuitement à chaque membre.

ART. XVII. — Chaque membre paye : 1° un droit d'entrée; 2° une cotisation annuelle. Le droit d'entrée est fixé à la somme de 20 francs. Ce droit pourra être augmenté par la suite, mais seulement pour les membres à élire. La cotisation annuelle est invariablement fixée à 30 francs. La cotisation annuelle peut, au choix de chaque membre, être remplacée par le versement d'une somme fixée par la Société en assemblée générale. (*Décret du 12 décembre 1873*). (3).

(1) Pour faire partie de la Société, il faut s'être fait présenter dans l'une de ses séances par deux membres qui auront signé la présentation, avoir été proclamé dans la séance suivante par le Président, et avoir reçu le diplôme de membre de la Société (*Art. 4 du règlement administratif*).

(2) Pour assister aux séances, les personnes étrangères à la Société doivent être présentées chaque fois par un de ses membres. (*Art. 42 du règlement administratif*).

(3) Cette somme a été fixée à 400 francs (*Séance du 20 novembre 1874*).

TABLEAU INDICATIF DES JOURS DE SÉANCE

ANNÉE 1894

Les séances se tiennent à 3 heures 1/2 du soir, rue des Grands-Augustins, 7
Les 1^{er} et 3^e lundis de chaque mois.

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Novembre	Décembre
8	5	5	2	7	4	5	3
22	19	19 29*	16	21	28	19	17

Séance générale annuelle à 3 heures, le Jeudi 29 Mars.

La bibliothèque est ouverte tous les jours, de 1 heure à 6 heures.

COMPOSITION DU BUREAU DE LA SOCIÉTÉ POUR L'ANNÉE 1894

Président : M. GOSSELET.

Vice-Présidents :

M. LINDER.

M. BOULE.

M. FABRE.

M. HAUG.

Secrétaires :

M. CAYEUX, pour la France.

M. L. BERTRAND, pour l'Etranger.

Vice-Secrétaires :

M. GENTIL.

M. GLANGEAUD.

Trésorier : M. L. JANET.

Archiviste : M. EM. DE MARGERIE.

Membres du Conseil :

M. GAUDRY.

M. MUNIER-CHALMAS.

M. COTTEAU.

M. PELLAT.

M. MICHEL LÉVY.

M. DOUVILLÉ.

M. DE LAPPARENT.

M. BERGERON.

M. SCHLUMBERGER.

M. ZEILLER.

M. CAREZ.

M. VÉLAIN.

NOTES & MÉMOIRES INSÉRÉS DANS LES FEUILLES 5-8

(t. XXII).

Ph. ZÜRCHER. — *Note sur le mode de formation des plis de l'écorce terrestre (fin)*.....

Marcel BERTRAND. — *Etudes dans les Alpes françaises. (Structure en éventail, massif amygdaloïdes et métamorphisme) (Pl. IV-VI) avec 22 figures dans le texte.*

Id. — *Etudes dans les Alpes françaises (Schistes lustrés de la zone centrale)*.....

Le Secrétaire-Gérant,

L. CAYEUX.